INVESTIGACION y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

METALES QUE SE COMPORTAN COMO PLASTICOS

¿ESTA SUBIENDO EL NIVEL DEL MAR?

INFORME ESPECIAL: PRESENTE Y FUTURO DE INTERNET

MAYO 1997
800 PTAS.





Mayo de 1997 Número 248

SECCIONES



Portada: Jeff Brice

PROCEDENCIA DE LAS ILUSTRACIONES

Página	Fuente
6-7	Cortesía de SOHO EIT Consortium (*zona interior*) y SOHO UVCS Consortium (*zona exterior*)
8	Cortesía de Jack Harvey; Michael Goodman (*corte de sección*)
9	Agencia Espacial Europea y NASA
10	Cortesía de SOHO SOI/MDI Consortium y A. G. Kosovichev
11	Cortesía de SOHO SOI/MDI Consortium, T. L. Duvall, Jr., A. G. Kosovichev y P. H. Scherrer (*arriba*); M. Goodman (*abajo*)
12	SOHO Celias Consortium y Fred M. Ipavich (*arriba*); SOHO Lasco Cons. y G. E. Brueckner (*abajo*)
13	Cortesía de SOHO Swan Consortium y Jean-Loup Bertaux
16-19	Jennifer C. Christiansen
20	Bernd Auers
21	Jennifer C. Christiansen
24	George K. Bryce
25	R. Mendez (*izda.*); P. Murray (*dcha.*)
26	R. S. Seymour (*arriba*); G. Gottsberger (*izda. y dcha.*); G. K. Bryce (*centro*)
27	Andrew Christie
28	Roger S. Seymour (*fotos*); Andrew Christie (*gráfica*)
29	A. Christie, T. Narashima (*dibujos*)
33	Raphael Wollman
34	Arthur Kleinman
36	Joao Silva
38	Jeff Brice (*arriba*); Bryan Christie
39	Matthew K. Gray; Bryan Christie
40-41	IBM Corporation/Romtech/Corel
42-43	Bryan Christie
44	Jeff Brice (*arriba*); © 1996 Yahoo!, Inc. (*abajo*)
45-46	Marti A. Hearst; Xerox Parc
47	Cortesía de Excite, Inc.
48	Marti A. Hearst; Xerox Parc
50	Jeff Brice (*arriba*); Agencia France-Presse, Michel Gangne
51	Cortesía de la Biblioteca Británica
52	Michael Lesk
54-55	Jeff Brice (*arriba*); Bryan Christie
56	Jennifer C. Christiansen
58	Bryan Christie
60	Alis Technologies
61	Jeff Brice
62-63	Bryan Christie; Virgin Records, Jason Goltz (*abajo*)
64	Jennifer C. Christiansen
65-66	Jeff Brice (*arriba*); Museo Nacional de Historia de América
69	Ministerio de Transporte y Obras públicas de los Países Bajos
70-71	William F. Haxby
72	R. Lighty; M. Goodman (*abajo*)
73	Michael Goodman
74	Ron May
75-79	Cortesía de Universidad de Leiden
80-84	Gabriel Torres Villaseñor
86	Slim Films
89	Jennifer C. Christiansen
96	Du Pont

COLABORADORES DE ESTE NUMERO

Asesoramiento y traducción:

Mónica Murphy: *El SOHO revela los secretos del Sol*; Santiago Torres: *Búsqueda de genes para el diseño de nuevas medicinas*; Alfonso Susanna: *Plantas endotérmicas*; J. M. García de la Mora: *El problema mundial de los trastornos mentales*; Luis Bou: *La exploración de Internet, Bibliotecas digitales, La selección de información en Internet, Sistemas fiables, Conservación de Internet* y *Juegos matemáticos*; A. Garcimartín: *Sistemas para consultar la red*; José Luis Melús: *De paseo por la red y sin pantalla* y *Una Internet políglota*; M. Puigcerver: *La subida de los mares*; J. P. Campos: *Onnes y el descubrimiento de la superconductividad*; J. Vilardell: *Hace..., Taller y laboratorio* e *Ideas aplicadas*

INVESTIGACION Y CIENCIA

DIRECTOR GENERAL Francisco Gracia Guillén
EDICIONES José María Valderas, *director*
ADMINISTRACIÓN Pilar Bronchal, *directora*
PRODUCCIÓN M.ª Cruz Iglesias Capón
Bernat Peso Infante
Carmen Lebrón Pérez
SECRETARÍA Purificación Mayoral Martínez
EDITA Prensa Científica, S. A. Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44 Telefax (93) 414 54 13

SCIENTIFIC AMERICAN

EDITOR IN CHIEF John Rennie
BOARD OF EDITORS Michelle Press, *Managing Editor*; Philip M. Yam, *News Editor*; Ricki L. Rusting y Timothy M. Beardsley, *Associate Editors*; John Horgan, *Senior Writer*; Corey S. Powell, *Electronic Features Editor*; W. Wayt Gibbs; Kristin Leutwyler; Madhusree Mukerjee; Sasha Nemecek; David A. Schneider; Gary Stix; Paul Wallich; Glenn Zorpette; Marguerite Holloway, *Contributing Editor*
PRODUCTION Richard Sasso
PUBLISHER Joachim P. Rosler
CHAIRMAN AND CHIEF EXECUTIVE OFFICER John J. Hanley

SUSCRIPCIONES

Prensa Científica S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona (España)
Teléfono (93) 414 33 44
Fax (93) 414 54 13

Precios de suscripción, en pesetas:

	Un año	Dos años
España	8.800	16.000
Extranjero	11.000	20.400

Ejemplares sueltos:

Ordinario: 800 pesetas
Extraordinario: 1.000 pesetas

—Todos los precios indicados incluyen el IVA, cuando es aplicable.

—En Canarias, Ceuta y Melilla los precios incluyen el transporte aéreo.

—El precio de los ejemplares atrasados es el mismo que el de los actuales.

DISTRIBUCION

para España:

MIDESA
Carretera de Irún, km. 13,350
(Variante de Fuencarral)
28049 Madrid Tel. (91) 662 10 00

para los restantes países:

Prensa Científica, S. A.
Muntaner, 339 pral. 1.ª – 08021 Barcelona
Teléfono (93) 414 33 44

PUBLICIDAD

GM Publicidad
Francisca Martínez Soriano
Menorca, 8, semisótano, centro, izquierda.
28009 Madrid
Tel. (91) 409 70 45 – Fax (91) 409 70 46

Cataluña y Baleares:
Miguel Munill
Muntaner, 339 pral. 1.ª
08021 Barcelona
Tel. (93) 321 21 14
Fax (93) 414 54 13



ISSN 0210136X Dep. legal: B. 38.999 – 76

Filmación y fotocromos reproducidos por Dos Digital, Zamora, 46-48, 6ª planta, 3ª puerta - 08005 Barcelona
Imprime Rotocayfo, S.A. Ctra. de Caldes, km 3 - Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

Printed in Spain - Impreso en España

HACE...

...cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «El doctor Felix Bloch, de la Universidad de Stanford, está ensayando nuevos métodos de análisis de materiales que se basan en la frecuencia y la reacción magnética de los núcleos atómicos. Apoyado en el principio según el cual el núcleo atómico de cada elemento posee una frecuencia característica precisa a la cual resuena bajo la influencia de una corriente de radiofrecuencia en un campo magnético, el experimento consiste en situar los materiales a ensayar en el campo de un potente electroimán. En los núcleos se induce la corriente de radiofrecuencia; un receptor muy sensible detecta la frecuencia emitida por los núcleos. Esa frecuencia da la clave de la composición del material.» [*Nota de la Redacción: Bloch y Edward M. Purcell, de la Universidad de Harvard, ganaron el premio Nobel de física de 1952 por sus trabajos acerca de la resonancia magnética nuclear.*]

«En ocho aviones Boeing Stratocruiser de lujo, actualmente en construcción para la compañía American Overseas Airlines, se están instalando modernos equipos de radar comercial. Una antena montada en el morro y apuntando hacia adelante revelará las zonas de tormenta y las regiones de formación de hielo peligrosas. Otra antena de 150 cm montada en la panza, apuntada hacia abajo, trazará las líneas litorales.»

...cien años

SCIENTIFIC AMERICAN: «¿Cómo se mantiene la temperatura del Sol? Hacia 1853, Helmholtz sugirió que el calor del Sol se conserva gracias a su lenta contracción. Si dejo caer un libro al suelo, ¿qué ocurre? La gravedad actúa sobre él, con un leve ruido; pero lo importante es que hubo un movimiento, que éste se detuvo y que se generó cierta cantidad de calor. Supongamos que cada porción del Sol caiga 50 metros hacia el centro del planeta, disminuyendo su diámetro en unos 60 metros; esto daría cuenta de todo el calor que despide el Sol. Una contracción anual de 90 metros en diámetro tendría que proseguir durante 7000 años antes de que lo detectara el mejor de los telescopios que nosotros, o quienes nos sigan, pudiéramos construir alguna vez.»

«La visión de telarañas y polvos sobre una botella de vino solía tomarse como una señal convincente de vejez. Por desgracia, la División de Entomología del Departamento de Agricultura de EE.UU. afirma que una empresa hace poco dio a conocer unas arañas de crianza destinadas a las bodegas, asegurando así un recubrimiento de telarañas a las botellas de vino nuevas, confiriendo a éstas la apariencia de envejecimiento.»

«Una causa en un tribunal de Nueva York en que un propietario, demandante a una compañía de ferrocarriles por daños causados a su propiedad por el ruido del paso de los trenes, ha pretendido presentar un fonógrafo, y así ofrecer al tribunal una prueba directa y práctica de las vibraciones producidas por las locomotoras y los vagones y su propagación por los apartamentos del querellante. La admisión o no admisión de tal prueba está pendiente de la resolución del tribunal.»

«Fafner, el dragón de "Siegfrido", es una de las más interesantes piezas del attrezzo del Centro Metropolitano de Opera de Nueva York. Mide más de nueve metros de largo, se ha construido de cartón piedra y tela y está pintado en tonos verdes. Las fauces, la lengua y las antenas son retráctiles. La cabeza la aguanta un hombre y la mueve otro hombre. Una manguera, que discurre desde bastidores y atraviesa la cola y el cuerpo, transporta el vapor necesarios para el sulfuroso aliento del terrible monstruo, mientras que los ojos están iluminados con luz eléctrica. Nuestra ilustración muestra al dragón a la puerta de su caverna, arrojando vapor, con los ojos de fuego.»

...ciento cincuenta años

SCIENTIFIC AMERICAN: «Está comprobado que los planetas, al igual que el nuestro, giran en torno al Sol con períodos regulados, poseen noches y días y están provistos de atmósferas, que sustentan nubes, agitadas por vientos. Pese a las densas atmósferas y espesas nubes que constantemente envuelven a Marte y Mercurio, el telescopio nos ha mostrado grandes irregularidades en sus superficies, lo que prueba la existencia de valles y montañas. En Marte, han podido hacerse visibles los contornos geográficos de la tierra y el agua; en sus largos inviernos polares las nieves se acumulan en la desolación de las latitudes más altas.»

«En Londres acaba de entrar en servicio cierto número de cabriolés de invención reciente. La novedad estriba en que carecen por completo de ballestas. Un tubo de caucho, de unos treinta centímetros de diámetro, inflado con aire, rodea cada rueda a modo de llanta, y con tan sencillo como original accesorio el vehículo se desliza silenciosamente, proporcionando el máximo confort a los pasajeros.»



Efectos especiales en la interpretación del "Sigfrido", 1897

El SOHO revela los secretos del Sol

Una nueva y potente nave espacial, el Observatorio Solar y Heliosférico, el SOHO, sigue atenta lo que acontece en el astro durante las 24 horas y nos permite conocerlo mejor

Kenneth R. Lang

Desde lejos, el Sol no parece demasiado complejo. Para el observador ocasional es sólo una bola de gas, lisa y uniforme. Pero cuando se mira más de cerca se ve que está en permanente agitación y se suscitan muchos interrogantes sobre su naturaleza. No sabemos, por ejemplo, cómo genera el Sol sus campos magnéticos, responsables de buena parte de su actividad; ésta se manifiesta en las impredecibles explosiones que provocan, en la Tierra, las tormentas magnéticas y los apagones energéticos. Tampoco se sabe por qué ese magnetismo se concentra en las manchas, islotes oscuros que motean la superficie solar, tan grandes como la Tierra, aunque miles de veces más magnéticos. E ignoramos por qué la actividad magnética del Sol varía de forma tan brusca, disminuyendo e intensificándose de nuevo cada once años más o menos.

Para dar respuesta a estas cuestiones y predecir mejor los efectos del Sol en nuestro planeta, la Agencia Espacial Europea y la NASA lanzaron el dos de diciembre de 1995 un vehículo espacial de dos toneladas de peso, el Observatorio Solar y Heliosférico, o SOHO. Alcanzó su posición estratégica permanente —el punto interno lagrangiano, situado aproximadamente a un uno por ciento de la distancia al Sol— el 14 de febrero de 1996. Allí se equilibran las fuerzas de la gravedad terrestre y solar, de forma que el SOHO gira alrededor del Sol junto con la Tierra. Los satélites que han estudiado antes el Sol orbitaban alrededor de la Tierra, así que ésta se interponía regularmente en su línea de visión. El SOHO lo vigila de forma continua: una docena de instrumentos lo examinan con un detalle sin precedentes y remiten diariamente varios miles de imágenes a la Planta de Operaciones de los Experimentadores del SOHO, en el Centro de Vuelos Espaciales Goddard (Greenbelt, Maryland) de la NASA, mediante las antenas de la Red del Espacio Profundo (*Deep Space Network*).

En la Planta de Operaciones colaboran físicos solares de todo el mundo, que observan el Sol día y noche en una habitación sin ventanas. Muchas de las imágenes únicas que reciben pasan casi instantáneamente a la página del SOHO en la red (http://sohowww.nascom.nasa.gov). Cuando se empezaron a recibir las primeras imágenes, el astro estaba en el mínimo de su ciclo de actividad (de once años), pero el SOHO lleva suficiente combustible para seguir funcionando durante algo más de diez años y lo vigilará, por tanto, a lo largo de sus estaciones tempestuosas, desde esta etapa de escasa actividad magnética hasta su próximo punto máximo, previsto para fines de siglo. No obstante, el SOHO se ha apuntado ya algunos descubrimientos asombrosos.

Para comprender los ciclos del Sol, debemos adentrarnos en sus profundidades, hasta donde se genera el magnetismo. Una de las formas de explorar esos interiores que no vemos consiste en detectar los movimientos hacia fuera y hacia dentro de la superficie visible, la fotosfera (del griego *photos*, que significa luz).

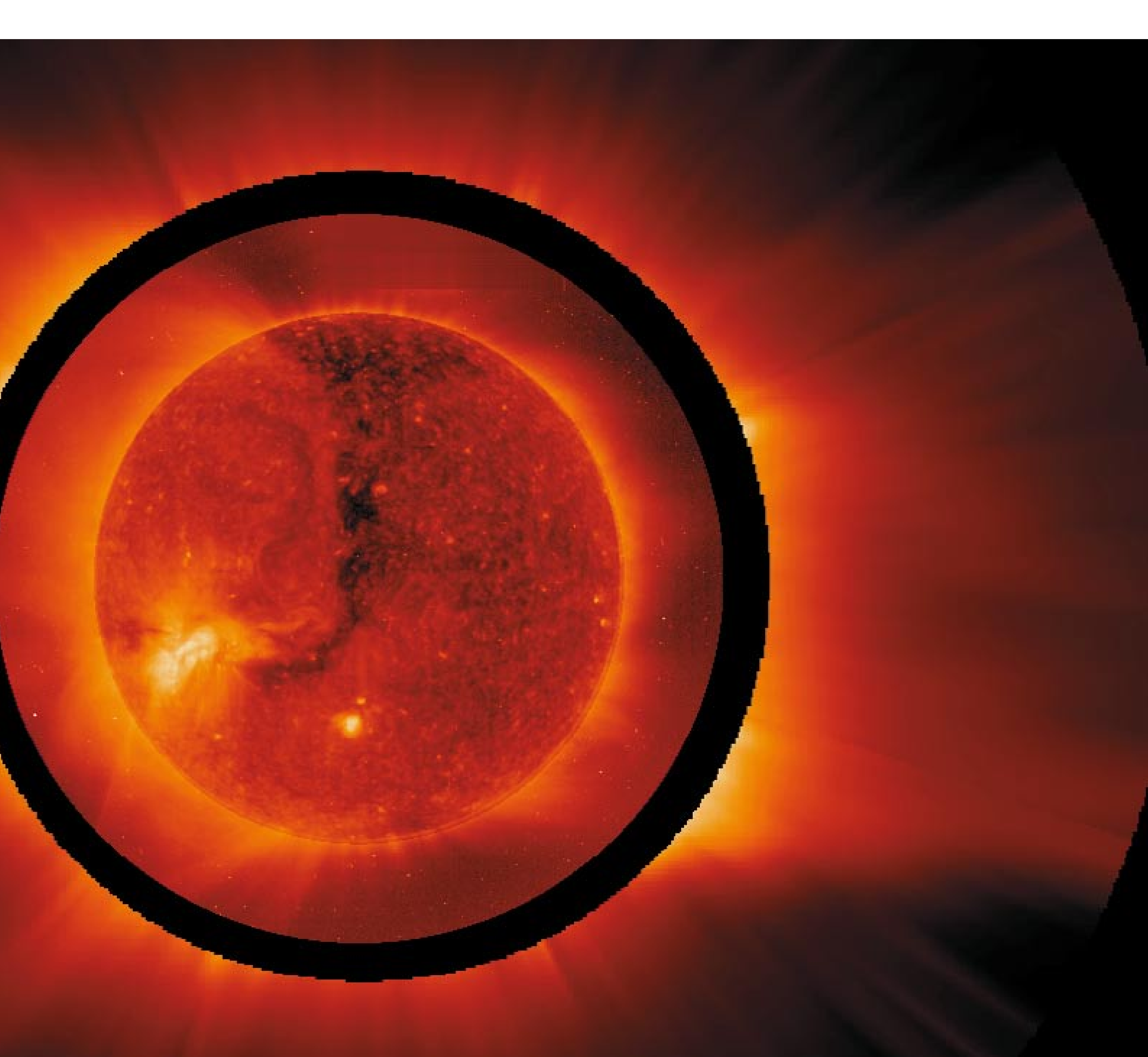
KENNETH R. LANG es catedrático de astronomía en la Universidad de Tufts. Ha escrito más de 150 artículos de su especialidad y cinco libros, traducidos a siete idiomas. Entre ellos está el clásico de referencia obligada *Astrophysical Formulae.*



Estas oscilaciones, que pueden medir decenas de kilómetros de alto y se propagan a cientos de metros por segundo, son producidas por los sonidos que atraviesan el interior. Los sonidos, atrapados dentro del Sol, no pueden propagarse a través del vacío del espacio. (Y aunque lograran llegar a la Tierra son demasiado bajos para que el ser humano los percibiera.) Pero cuando llegan a la superficie del Sol, donde rebotan hacia el interior, perturban el gas que hay allí y hacen que se mueva arriba y abajo, lenta y rítmicamente, con un período de unos cinco minutos.

Los movimientos pulsátiles que estos sonidos generan son imperceptibles a simple vista, pero los instrumentos del SOHO los detectan muy bien. Dos dispositivos en particular, el Creador Michelson de Imágenes Doppler (*Michelson Doppler Imager*, MDI) y el Oscilaciones Globales a Bajas Frecuencias (*Global Oscillations at Low Frequencies*, GOLF) registran las velocidades de oscilación de la superficie con precisión superior a un milímetro por segundo. Un tercer dispositivo sigue otro cambio causado por las ondas sonoras: cuando éstas interfieren con los gases procedentes de sus regiones emisoras de luz, el Sol parpadea como un estroboscopio gigantesco. El instrumento VIRGO

1. ESTA IMAGEN COMPUESTA, tomada por los instrumentos instalados a bordo del SOHO y unida en el círculo negro, muestra la atmósfera exterior del Sol desde la base de la corona hasta millones de kilómetros más allá de la superficie. En la luz ultravioleta que emiten los iones de oxígeno que se alejan del Sol y se integran en el viento solar (*fuera del círculo negro*) aparecen estructuras radiformes. El viento solar de mayor velocidad se origina en los agujeros coronales, que aquí se ven, cerca del polo norte (*arriba*) y a través del disco solar (*dentro del círculo negro*), como regiones más oscuras.



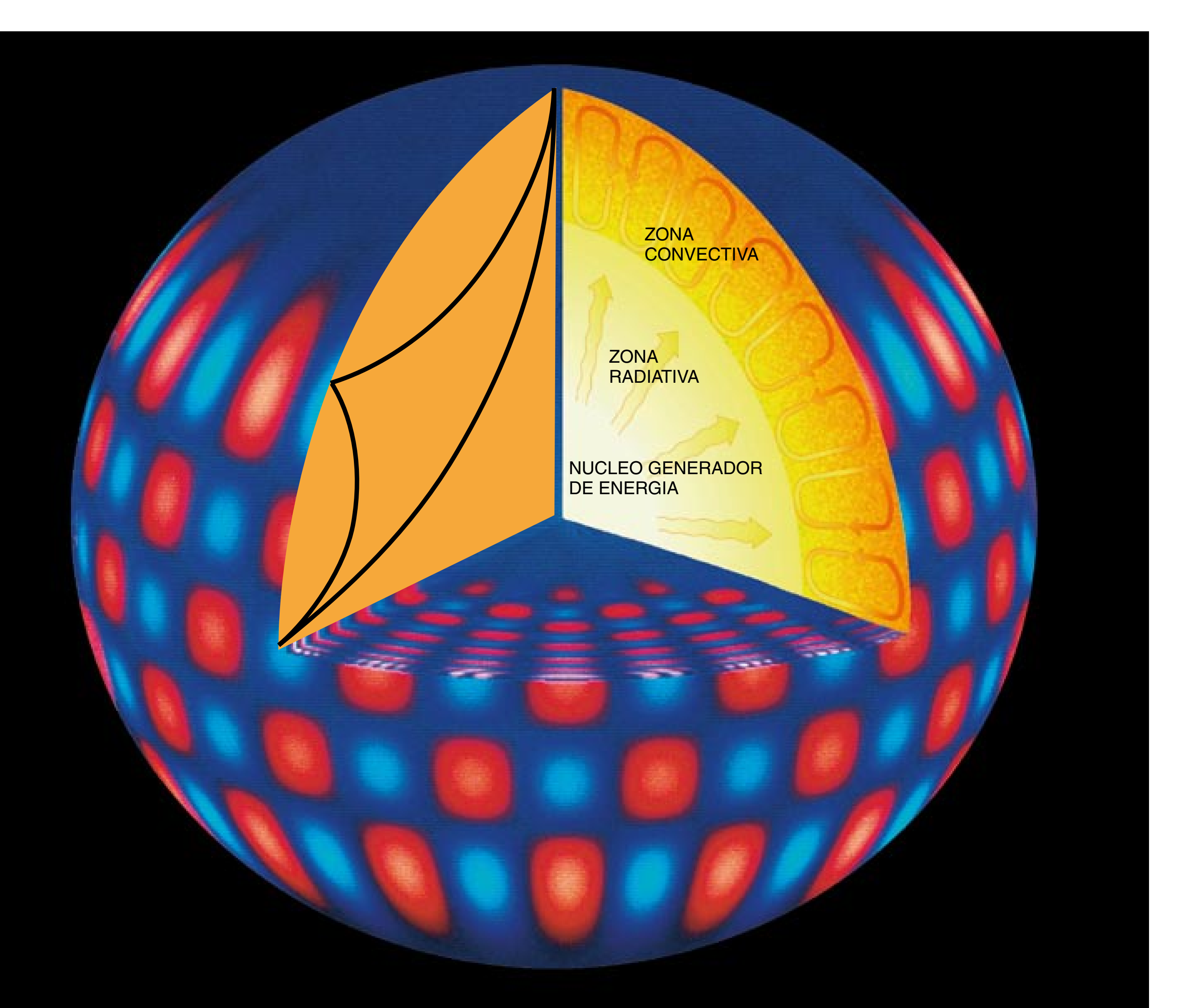
(*Variability of solar IRradiance and Gravity Oscillations*, Variabilidad de la Irradiancia Solar y Oscilaciones de la Gravedad) registra estos cambios de intensidad, ínfimas fracciones del brillo medio del Sol.

Las oscilaciones superficiales se producen por el efecto combinado de unos diez millones de notas separadas, cada una de las cuales se propaga por una trayectoria propia en una sección bien definida del interior del astro. De modo que, para estudiar el paisaje físico del Sol de arriba abajo —desde la agitada zona convectiva, el 28,7 más exterior (si se mide por la parte del radio solar que comprende), hasta la zona radiativa y el núcleo—, hemos de determinar el tono preciso de todas esas notas.

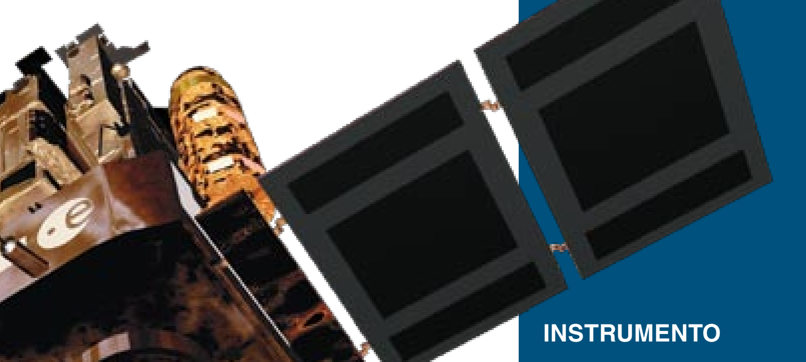
El factor predominante en cada sonido es la velocidad, que a su vez depende de la temperatura y composición de las regiones solares que atraviesa. Para calcular la velocidad del sonido esperada se recurre a un modelo numérico. Las pequeñas discrepancias entre los cálculos realizados con ordenador y la velocidad realmente observada permiten afinar el modelo y establecer la variación radial de la temperatura, la densidad y la composición del Sol.

Las expectativas teóricas y las observaciones realizadas con el MDI guardan un acuerdo notable, con una diferencia máxima de sólo un 0,2 por ciento. Pero dónde se producen exactamente las discrepancias dice mucho. Da a entender que la materia se mezcla en el borde del núcleo generador de energía, así como debajo mismo de la zona convectiva.

Desde hace más de tres siglos y gracias a la observación de las manchas solares, se sabe que la fotosfera gira más deprisa en el ecuador que a latitudes superiores y que la velocidad disminuye uniformemente en la vecindad de los polos. Los datos procedentes del SOHO confirman que este patrón diferencial persiste a través de la zona convectiva. Pero la velocidad de rotación se hace uniforme de polo a polo a un tercio del camino hacia el centro. Esa velocidad cambia, pues, bruscamente en la base de la zona convectiva. Allí, las regiones externas del interior radiativo, que tiene una velocidad de rotación única, se encuentran con la zona convectiva, que está sobre ellas y gira más deprisa en su franja ecuatorial. Sospechamos que esta delgada capa base de cizalla



2. LAS ONDAS DE SONIDO, representadas en el corte con líneas negras, resuenan a través del Sol. Las origina el gas caliente que se agita en la zona convectiva, situada sobre la zona radiativa y el núcleo solar. Conforme las ondas se van propagando hacia el centro del Sol, adquieren mayor velocidad y se refractan hacia el exterior. Al propio tiempo, la superficie solar refleja hacia dentro las ondas que viajan hacia fuera. El astro entero palpita; unas regiones lo hacen hacia fuera (*lunares rojos*), otras hacia dentro (*lunares azules*).



rotacional podría ser la fuente del magne- tismo solar.

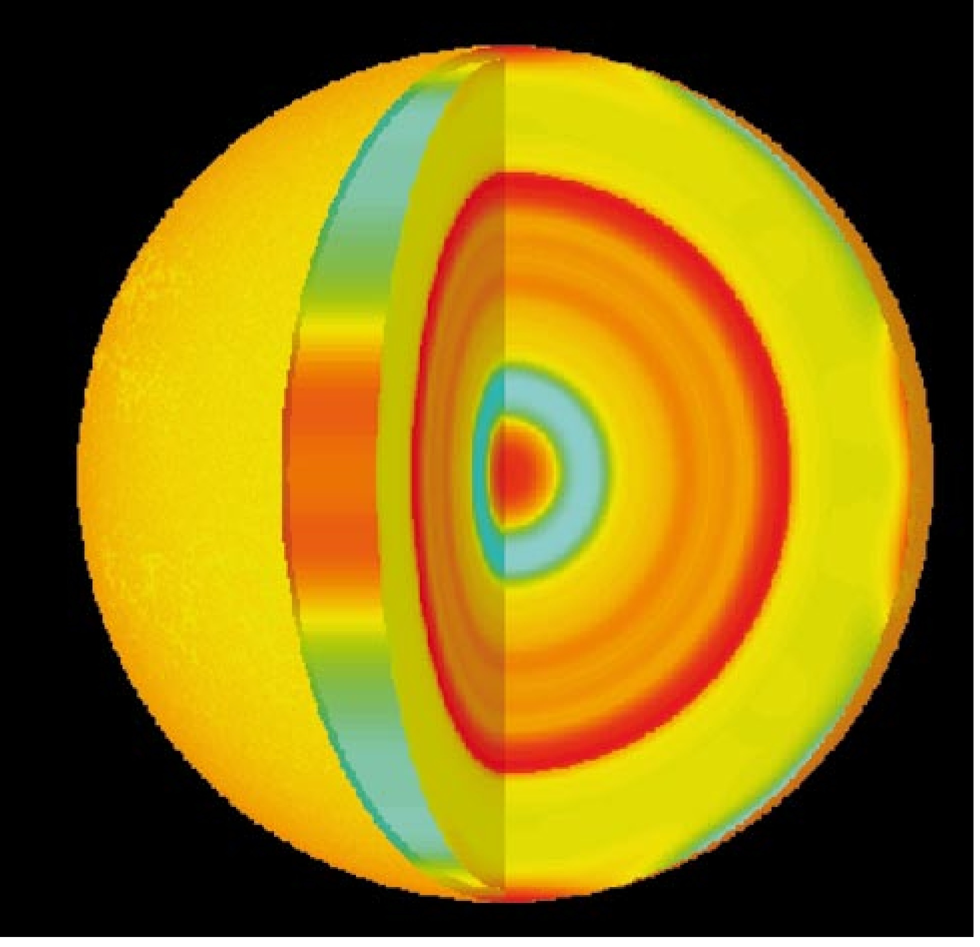
El telescopio MDI instalado a bordo del SOHO también ha facilitado el estudio de las capas externas del Sol. Debido a su situación, muy por encima de la distorsionadora atmósfera terrestre, puede detectar, sin interrupción, detalles pequeñísimos que no siempre se aprecian desde tierra. Por esta razón, ha resultado particularmente útil en el campo de la heliosismología tiempo-distancia, una nueva técnica para descubrir el movimiento de los gases debajo mismo de la fotosfera. Se trata de un método bastante directo: cada minuto, el telescopio registra los tenues cambios periódicos que se producen en la longitud de onda de la luz emitida por un millón de puntos del Sol. Gracias a esta observación continua se determina cuánto tarda una onda sonora en atravesar las capas externas del Sol. Ese tiempo nos informa de la temperatura y de los flujos de gas existentes a lo largo del recorrido interno que conecta dos puntos de la superficie visible. Si la temperatura local es alta, las ondas sonoras avanzarán más rápidas, y lo mismo pasa si viajan con el flujo de gas.

El MDI ha proporcionado los tiempos de recorrido de sonidos que recorren miles de trayectorias y unen miríadas de puntos superficiales. Con estos datos se ha elaborado un modelo tridimensional de la estructura interna y de la dinámica del Sol, algo así como una tomografía computarizada del interior del cerebro. Primero se introdujeron los datos del SOHO en unos superordenadores para que calcularan las temperaturas y direcciones del flujo a lo largo de esas trayectorias entrecruzadas. Transcurrida una semana entera machacando números, las máquinas generaron los primeros mapas que mostraban las velocidades del flujo convectivo en el interior de una estrella. Los flujos en cuestión no constituyen movimientos globales

Batería instrumental del SOHO

Hay científicos de distintas partes del mundo investigando el Sol por medio de 12 instrumentos instalados a bordo del SOHO. Tres dispositivos estudian el interior del Sol, seis miden su atmósfera y tres siguen el viento de largo alcance que emana de la estrellla.

INSTRUMENTO	MEDICION	INVESTIGADOR PRINCIPAL
GOLF	El dispositivo Oscilaciones Globales a Bajas Frecuencias registra la velocidad de las oscilaciones globales del interior solar	Alan H. Gabriel, Instituto de Astrofísica Espacial, Francia
VIRGO	El instrumento Variabilidad de la Irradiancia Solar y Oscilaciones de la Gravedad mide las fluctuaciones del brillo del Sol y la magnitud exacta de su producción energética	Claus Fröhlich, Observatorio Davos de Física y Meteorología y Centro Mundial de la Radiación, Suiza
SOI/MDI	El instrumento Investigación de las Oscilaciones Solares/Creador Michelson de Imágenes Doppler mide la velocidad de las oscilaciones producidas por los sonidos atrapados en el interior solar	Philip H. Scherrer, Universidad de Stanford, EE.UU.
SUMER	El instrumento Mediciones Solares Ultravioletas de la Radiación Emitida proporciona datos sobre la temperatura, densidad y velocidad de varios gases de la cromosfera y la corona	Klaus Wilhelm, Instituto Max Planck de Aeronomía, Alemania
CDS	El Espectrómetro de Diagnóstico de la Corona registra la temperatura y densidad de los gases de la corona	Richard A. Harrison, Laboratorio Rutherford de Appleton, Reino Unido
EIT	El Telescopio de Imágenes del Ultravioleta Lejano proporciona imágenes del disco completo de la cromosfera y la corona	Jean-Pierre Delaboudinière, Instituto de Astrofísica Espacial, Francia
UVCS	El Espectrómetro Coronógrafo Ultravioleta mide la temperatura y velocidad de los átomos de hidrógeno, el oxígeno y otros iones de la corona	John L. Kohl, Observatorio Smithsoniano de Astrofísica, EE.UU.
LASCO	El Coronógrafo Espectroscópico de Gran Angulo proporciona imágenes que descubren la actividad, masa, momento y energía de la corona	Guenter E. Brueckner, Laboratorio de Investigación Naval, EE.UU.
SWAN	El dispositivo Anisotropías del Viento Solar vigila las variaciones, con el tiempo y la latitud, del viento solar	Jean-Loup Bertaux, Servicio de Aeronomía, Francia
CELIAS	El Sistema de Análisis de Isótopos, Elementos y Carga cuantifica la masa, carga, composición y distribución de energía de las partículas del viento solar	Peter Bochsler, Universidad de Berna, Suiza
COSTEP	El analizador Partículas de Gran Energía y Supratérmicas General determina la distribución de energía de protones, iones de helio y electrones	Horst Kunow, Universidad de Kiel, Alemania
ERNE	El experimento Electrones y Núcleos de Gran Energía y Relativistas mide la distribución de energía y la composición isotópica de los protones, otros iones y los electrones	Jarmo Torsti, Universidad de Turku, Finlandia



3. DE LAS VELOCIDADES DEL SONIDO dentro del Sol podemos inferir la densidad y la temperatura de las regiones componentes. En las áreas rojas hay velocidades del sonido mayores que las calculadas mediante un modelo solar estándar (*amarillo*); en las zonas azules son menores. La caída de la velocidad del sonido en el borde del núcleo solar podría deberse a un proceso de combustión inestable que mezclase la materia que hay allí. El aumento de la velocidad del sonido justo debajo de la zona convectiva podría reflejar la turbulencia causada por las variaciones de la velocidad de rotación de las diferentes partes del Sol. Los cambios con la latitud cerca de la superficie (*a la izquierda del centro*) señalan, verosímilmente, diferencias de temperatura.

como las rotaciones, sino otros a escala restringida que parecen ser independientes entre sí. Con todo, su velocidad llega al kilómetro por segundo, mayor que la de un avión supersónico.

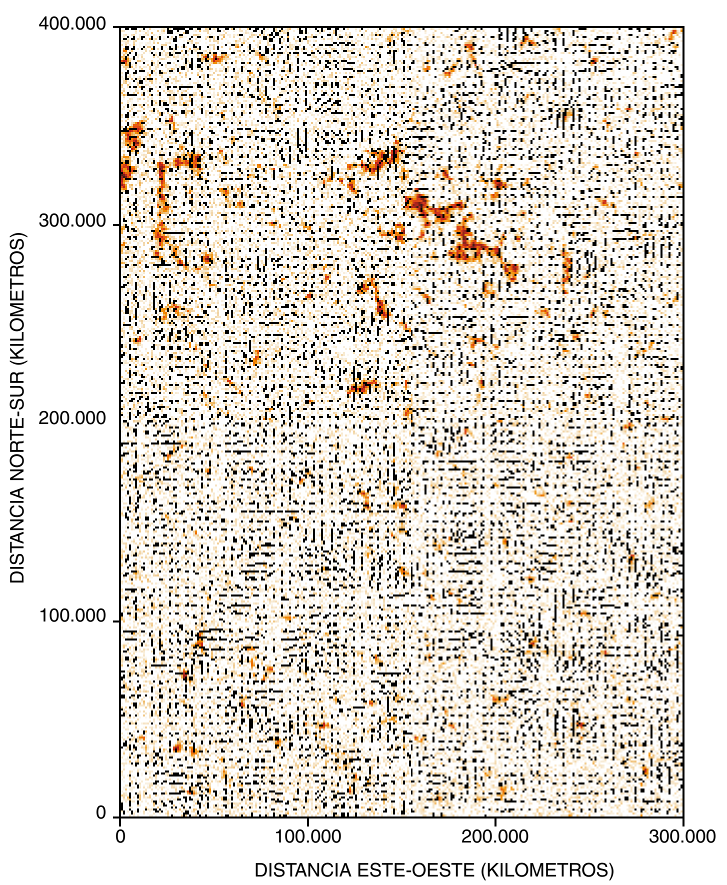
El equipo del MDI, para representar cómo se internan estos flujos en la zona convectiva, calculó lo que tardan los sonidos en adentrarse unos 8000 kilómetros en el Sol. Se encontró lo que se esperaba: que esa región inquieta se asemeja a un recipiente de agua en ebullición; el material caliente sube por ella y los gases más fríos se hunden hacia el fondo. Sin embargo, y eso no era de presumir, muchos flujos son someros. El equipo también investigó los movimientos horizontales que se producen a una profundidad de 1400 kilómetros y los comparó con una imagen magnética superpuesta, tomada también por el MDI. Hallaron que las concentraciones magnéticas intensas tienden a situarse en regiones donde converge el flujo de gas subsuperficial. Seguramente, el agitado gas fuerza la unión de los campos magnéticos y los concentra; de ese modo se supera la presión magnética hacia fuera que tiende a que tales concentraciones locales se expandan y dispersen.

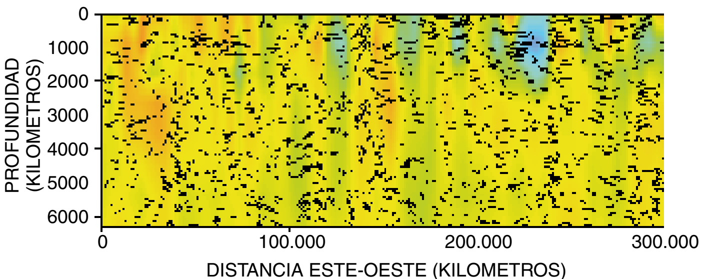
El SOHO también está ayudando a entender la atmósfera solar o corona. El nítido borde exterior del Sol es ilusorio; tan sólo marca el límite pasado el cual el gas solar se torna transparente. La corona invisible se extiende allende los planetas y crea una de las paradojas más intrigantes de la física solar: lo sorprendentemente caliente que es. Alcanza temperaturas superiores al millón de grados kelvin justo por encima de la fotosfera, mientras que la superficie visible está a sólo 5780 kelvin. El calor, sencillamente, no debería fluir hacia fuera, de una región fría a otra más caliente, contraviniendo la segunda ley de la termodinámica y el mero sentido común. Ha de haber, pues, algún mecanismo que transporte energía desde la fotosfera, o desde más abajo, hacia la corona. Las energía cinética y magnética pueden fluir de las zonas frías a las calientes. Los gases que se retuercen y los campos magnéticos cambiantes podrían ser, por tanto, los responsables.

Para estudiar la corona e identificar el esquivo mecanismo de su calentamiento, se observa la radiación en el ultravioleta (UV), ultravioleta lejano (EUV) y en rayos X. La razón de que se haga así estriba en que los materiales muy calientes (el del interior de la corona) emiten la mayor parte de su energía a esas longitudes de onda. Además, la fotosfera es demasiado fría para que emita en ellas una radiación intensa, por lo que aparece oscura bajo el gas caliente. Por desgracia, la radiación UV, EUV y de rayos X se absorben total o parcialmente por la atmósfera terrestre; no queda más remedio que observarlas con telescopios espaciales. El SOHO está midiendo la radiación en el UV y el EUV con cuatro instrumentos: el Telescopio de Imágenes del Ultravioleta Lejano (EIT, *Extreme-ultraviolet Imaging Telescope*), el experimento de Mediciones Solares Ultravioletas de la Radiación Emitida (SUMER, *Solar Ultraviolet Measurements of Emitted Radiation*), el Espectrómetro de Diagnóstico de la Corona (CDS, *Coronal Diagnostic Spectrometer*) y el Espectrómetro Coronógrafo Ultravioleta (UVCS, *UltraViolet Coronagraph Spectrometer*).

Para cartografiar las estructuras presentes en el disco solar, con temperaturas que van de los 6000 a los dos millones de grados kelvin, el SOHO se vale de las líneas espectrales, que aparecen al mostrar la intensidad de la radiación solar en función de la longitud de onda. Los instrumentos de a bordo localizan regiones que tengan una temperatura específica; lo hacen sintonizando las líneas espectrales emitidas por los iones que se forman en ellas. Los átomos de un gas más caliente pierden más electrones en las colisiones y su ionización, pues, es mayor. Como los iones diferentes emiten líneas espectrales a distinta longitud de onda, vienen a ser una especie de termómetro. A partir de los cambios operados por el efecto Doppler en la longitud de onda de las líneas espectrales recogidas por el SOHO podemos, además, deducir la velocidad de la materia que se mueve por esas regiones.

La radiación ultravioleta revela que el Sol es un lugar violento y vigoroso, incluso cuando su ciclo de actividad de once años parece atravesar un período



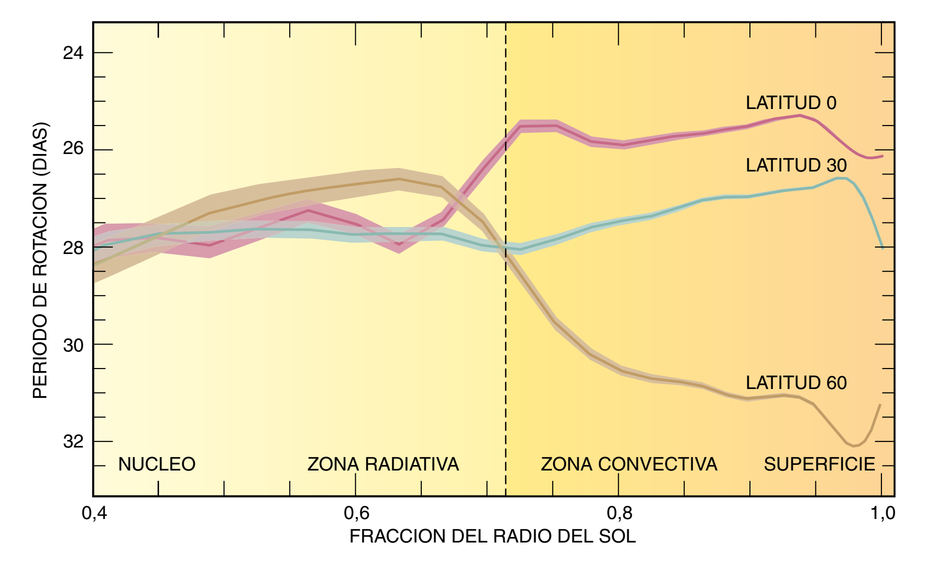


4. LA MATERIA FLUYE, vertical y horizontalmente, a través del Sol. Su movimiento y temperatura pueden determinarse mediante el Creador Michelson de Imágenes Doppler. El corte vertical (*arriba*) muestra variaciones de flujo y temperatura en el uno por ciento más externo (los 8000 kilómetros superiores) del Sol. La tonalidad del color indica los cambios de la temperatura, de fría (*azul*) a caliente (*rojo*). El corte horizontal (*izquierda*) corresponde a una profundidad de 1400 kilómetros; se le compara con los campos magnéticos superficiales (*concentraciones oscuras*). En ambos casos, las flechas indican la dirección y las velocidades relativas del material, que alcanza la velocidad máxima de un kilómetro por segundo.

de calma, lo que podría explicar por qué la corona tiene una temperatura tan alta. El Sol entero parece centellear con la luz UV emitida por las manchas brillantes locales. Según las mediciones del SOHO, estas manchas calientes y ubicuas se forman a temperaturas de un millón de grados kelvin; se originan, al parecer, en los pequeños rizos magnéticos de gas caliente existentes por todo el Sol, en los polos inclusive. Algunas manchas explotan y despiden materia hacia el exterior a velocidades de cientos de kilómetros por segundo. Se están investigando tales manchas brillantes para determinar si intervienen en el escurridizo mecanismo de calentamiento de la corona.

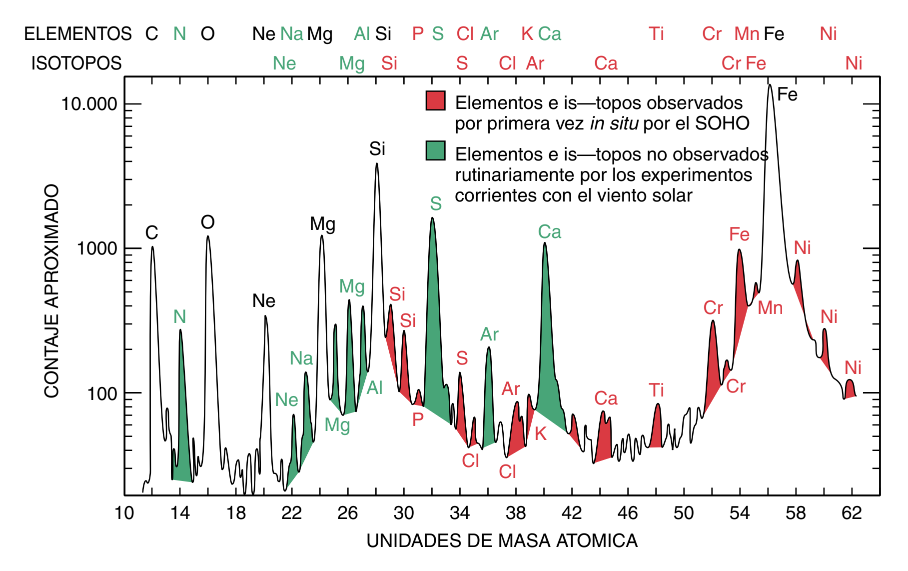
El SOHO explora los cambios que se producen a niveles más altos de la atmósfera solar con el UVCS y el Coronógrafo Espectroscópico de Gran Angulo (LASCO, *Large Angle Spectroscopic COronagraph*). Ambos instrumentos utilizan discos de ocultación para bloquear el resplandor de la fotosfera. LASCO detecta la luz solar visible diseminada por los electrones de la corona. En un principio nos enseñaba una corona sencilla, muy simétrica y estable. Observada durante la calma magnética del Sol, se le vieron en el norte y el sur unos agujeros muy pronunciados. (Los agujeros coronales son regiones amplias, de poca densidad y baja temperatura donde las emisiones en EUV y rayos X son insólitamente escasas o nulas.)

En cambio, las regiones ecuatoriales estaban circundadas por torrentes rectos y planos de materia que fluía hacia fuera. En la base de esos torrentes, conformados por el campo magnético solar, la materia electrizada se concentra densamente dentro de los rizos magnetizados que tienen su raíz en la fotosfera. En la parte exterior de la corona los torrentes se van estrechando, para extenderse por el espacio decenas de millones de kilómetros. Estas extensiones encierran, dentro de sus límites magnéticos, materia a unos dos millones de grados kelvin; se



5. LA VELOCIDAD DE ROTACION INTERNA del Sol a latitudes de cero, 30 y 60 grados, obtenida a partir de los datos del Creador Michelson de Imágenes Doppler. Hasta la base de la zona convectiva, las regiones polares giran a menor velocidad que las ecuatoriales. Más allá, la rotación uniforme parece ser la norma, aunque aún no se han podido determinar las velocidades de rotación del núcleo solar.

6. EL VIENTO SOLAR arrastra numerosos elementos. Los instrumentos del SOHO han distinguido el azufre, el argón y el calcio de otros cercanos a ellos como el silicio y el hierro. También se identifican con claridad el nitrógeno, el carbono y el oxígeno. Se detectan incluso elementos más raros: fósforo, cloro, potasio, titanio, cromo, manganeso y níquel.

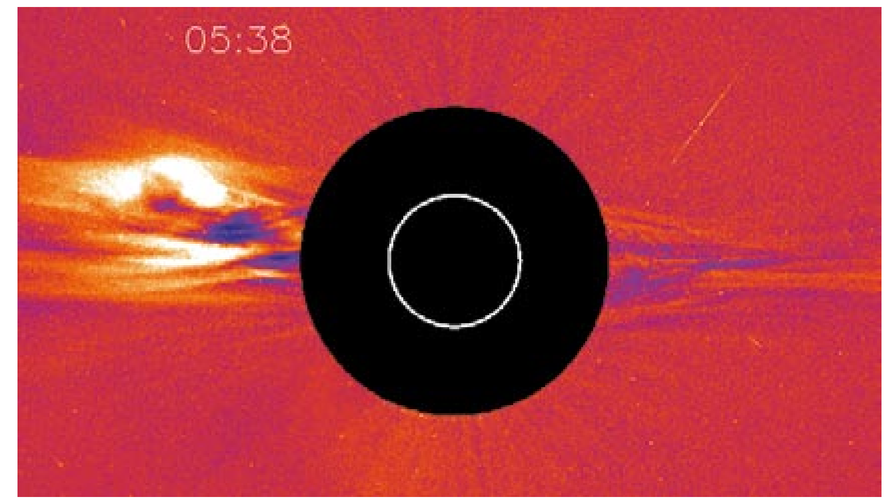


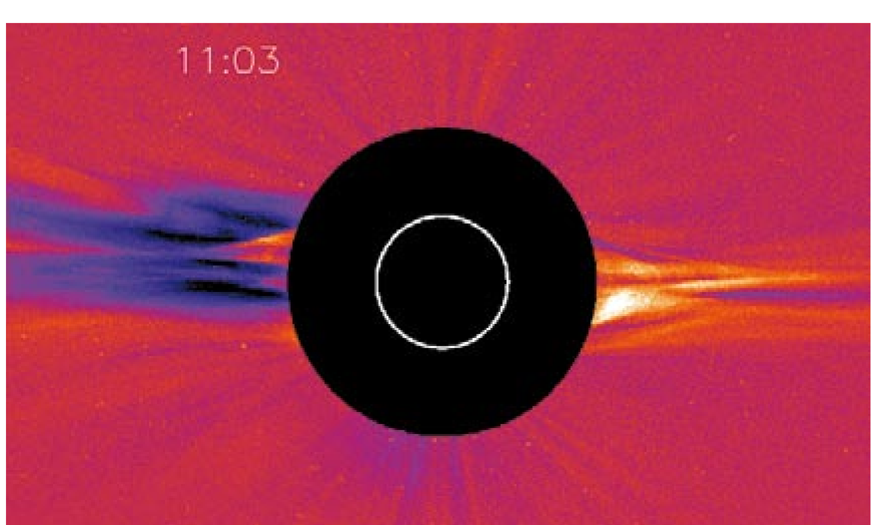
crea así un cinturón de gas muy caliente en torno al Sol.

Los torrentes hacen honor a su nombre: la materia parece fluir de forma continua a lo largo de sus campos magnéticos abiertos. De vez en cuando, los coronógrafos registran densas concentraciones de materia que se mueven por un torrente, por lo demás inalterable (es como observar las hojas que flotan sobre un arroyo). Y en ocasiones unas enormes erupciones, expulsiones de masa coronal, interrumpen el flujo estable hacia el exterior. Las erupciones envían al espacio interplanetario miles de millones de toneladas de gases a un millón de grados de temperatura y a velocidades de cientos de kilómetros por segundo. Este material a menudo llega a la Tierra en tan sólo uno o dos días. Para sorpresa de casi todos, LASCO detectó expulsiones ecuatoriales emitidas en el intervalo de unas pocas horas desde caras opuestas del Sol.

Los coronógrafos sólo tienen una perspectiva de un lado del Sol y por ello apenas pueden detectar el movimiento de materia hacia la Tierra o que proceda de ésta. Pero de lo que observamos inferimos que las expulsiones son perturbaciones globales que se extienden alrededor del astro. Cuando se producen las expulsiones de masa coronal parece que se perturban regiones solares de dimensiones inesperadamente grandes, o al menos así ocurre durante el mínimo del ciclo de actividad. El coronógrafo ha detectado, además, que, días antes de las expulsiones, el cinturón de torrentes se vuelve más brillante, indicio presumible de la acumulación allí de cantidades crecientes de materia. La presión y tensión de esta materia agregada deben de aumentar hasta que el cinturón de torrentes se desgarra con una expulsión. El proceso en su conjunto está vinculado, casi con toda probabilidad, a una reorganización global y a gran escala del campo magnético del Sol.

La atmósfera caliente y borrascosa de la estrella se expande en todas las direcciones y llena el sistema solar con un flujo incesante —el viento solar— que porta electrones, iones y campos magnéticos. La corona, a un millón de grados, crea una presión hacia fuera que supera la atracción gravitatoria del Sol y hace posible ese flujo perpetuo hacia el exterior. El viento acelera su paso a medida que se aleja del Sol, como lo hace el agua que desborda una presa. Para que el viento solar se siga alimentando, la corona solar dispersada ha de ser reemplazada por gases que surgen desde el interior. Las mediciones realizadas anteriormente por otras naves espaciales, y también por la *Ulises* (lanzada en 1990), demostra-

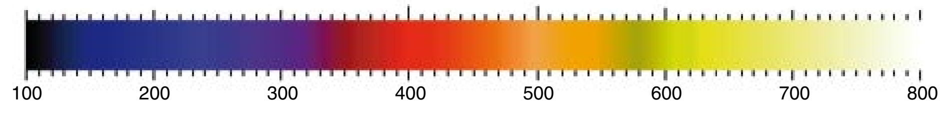


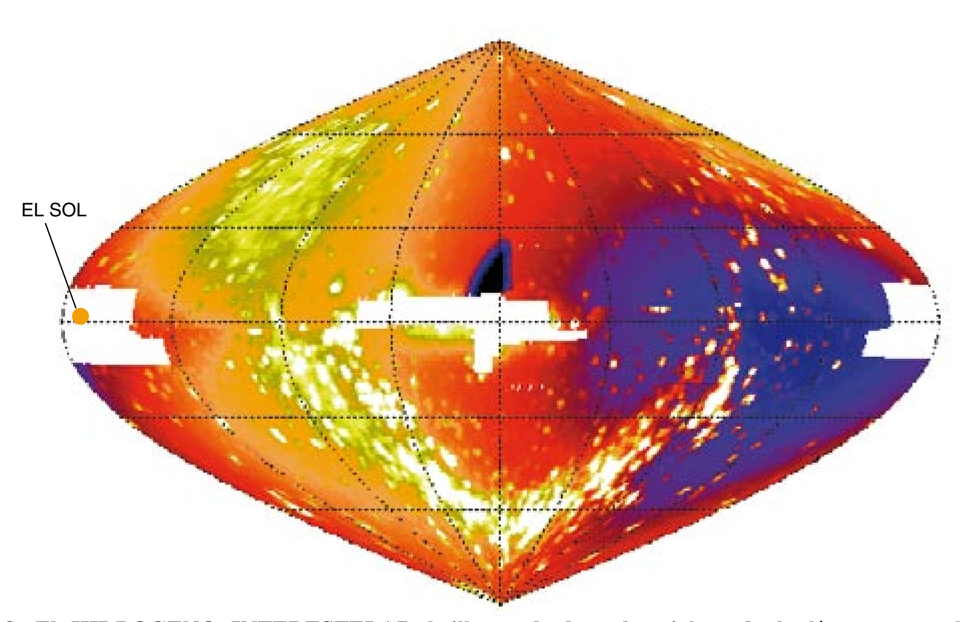


7. ESTAS EXPULSIONES de masa coronal (*blanco*) en las caras este y oeste del Sol fueron registradas por los coronógrafos del SOHO el mismo día, en un intervalo de escasas horas. El disco negro de ocultación bloquea el resplandor del Sol, cuyo borde visible está representado por el círculo blanco.

ron que el viento tiene una componente rápida y otra lenta; aquélla se desplaza a unos 800 kilómetros por segundo, ésta a la mitad de esa velocidad.

Se desconoce el lugar exacto de origen de la componente lenta y también se ignora qué imprime a la más veloz su impulso adicional; el SOHO debería darnos la respuesta. La componente lenta está asociada a las regiones ecuatoriales del Sol, objeto ahora de rastreo por LASCO y UVCS. La componente de alta velocidad mana desde los agujeros polares coronales. (Los campos magnéticos abiertos que encontramos allí permiten a las partículas cargadas escapar de la zarpa gravitatoria y magnética del Sol.) Actualmente el SOHO investiga si las plumas solares —largas estructuras enraizadas en la fotosfera y que se extienden hasta los agujeros de la corona— contribuyen a la generación de este viento solar de alta velocidad.





8. El HIDROGENO INTERESTELAR brilla en la luz ultravioleta de la línea espectral Lyman-alfa, correspondiente a una longitud de onda de 1216 angstrom. Las regiones difusas son emitidas por una nube de gas interestelar y las estrellas calientes generan los puntos brillantes. El Sol atraviesa la nube a 26 kilómetros por segundo y el viento solar crea una asimetría en la difusa incandescencia ultravioleta.

El UVCS ha examinado la emisión espectral de los iones de hidrógeno y de oxígeno, éstos dotados de intensa carga eléctrica, en las regiones donde se calienta la corona y se acelera el viento solar. Y los perfiles de esas líneas espectrales arrojan resultados sorprendentes que revelan una diferencia importante en las velocidades de agitación a las que se mueven los iones de hidrógeno y oxígeno. En los agujeros de la zona polar de la corona, donde se origina el viento solar rápido, el oxígeno, más pesado, se agita mucho más, con una energía de movimiento unas 60 veces superior; a unos dos radios solares del centro del Sol tiene su velocidad máxima de agitación, cerca de 500 kilómetros por segundo. El hidrógeno se desplaza a sólo 250 kilómetros por segundo. Por el contrario, en las regiones ecuatoriales, donde se origina el viento de baja velocidad, el hidrógeno, más ligero, avanza más deprisa que el oxígeno, fenómeno esperable de un viento impulsado por el calor.

Se está intentando determinar ahora por qué los iones de oxígeno, con mayor masa, se desplazan a velocidades superiores en los agujeros de la corona. La información sobre los procesos de calentamiento y aceleración podría esconderse en los agujeros coronales, donde, por su poca densidad, los iones rara vez chocan contra los electrones. Las frecuentes colisiones que se producen en los torrentes de alta densidad podrían borrar cualquier indicio de esos procesos.

Otro instrumento a bordo del SOHO es Anisotropías del Viento Solar (SWAN, *Solar Wind ANisotropies*), que examina los átomos del hidrógeno interestelar que llega a nuestro sistema solar procedente de otros lugares. A la manera en que una farola ilumina la neblina nocturna, así la radiación ultravioleta del Sol ilumina ese hidrógeno. Las partículas del viento solar rompen los átomos de hidrógeno; por eso, cuando el viento atraviesa la nube de hidrógeno interestelar, deja a su paso una cavidad oscura. El resplandor ultravioleta detectado por este instrumento dibuja la morfología del viento solar. Las mediciones realizadas indican que el viento solar es más intenso en el plano ecuatorial del Sol que en sus polos.

Además de las tormentas magnéticas y las oleadas de energía, las potentes expulsiones de masa coronal desencadenan intensas auroras en los cielos polares y pueden dañar o destruir los satélites en órbita. Otras erupciones de descomunal intensidad, las fulguraciones solares, despiden partículas de gran energía que ponen en peligro a los astronautas y destruyen la electrónica de los satélites. Si supiésemos qué cambios magnéticos solares preceden a estos violentos episodios, el SOHO podría dar a tiempo la señal de alarma para que nos protegiésemos de sus efectos.

El SOHO, estacionado fuera de la Tierra, puede estudiar las partículas amenazantes antes de que lleguen a nosotros. El Sistema de Análisis de Isótopos, Elementos y Carga (CELIAS, *Charge, ELement and Isotope Analysis System*) mide en estos momentos la concentración de isótopos y elementos raros que antes no eran observables. Comparando estos datos podemos extraer ciertas conclusiones sobre las condiciones que prevalecen en la atmósfera solar, región donde se origina el viento. Otros dos instrumentos, el analizador Partículas de Gran Energía y Supratérmicas General (COSTEP, *Comprehensive SupraThermal and Energetic Particle*) y el experimento Electrones y Núcleos de Gran Energía y Relativistas (ERNE, *Energetic and Relativistic Nuclei and Electron*) ya han obtenido mediciones directas *in situ* de electrones, protones y núcleos de helio de energía muy elevada que se encaminan a la Tierra. Han logrado seguirles la pista hasta las

violentas erupciones solares detectadas por el EIT. Es de esperar que tales episodios vayan aumentando a medida que entremos en el próximo máximo de actividad solar. El SOHO podrá entonces vigilar esas erupciones desde el momento en que se originan bajo la superficie visible del Sol y atraviesan la atmósfera solar para sembrar en la Tierra y el resto del sistema solar sus consecuencias.

Hasta la fecha el SOHO ha obtenido resultados fabulosos. Ha revelado aspectos del misterioso Sol nunca vistos ni observados con tamaña nitidez. Ha proporcionado nuevas perspectivas sobre problemas fundamentales aún sin resolver, desde el interior de la estrella hasta la Tierra y los más remotos confines del viento solar. Algunos de sus instrumentos se dedican ahora a resolver otros enigmas. Dos en particular —GOLF y VIRGO— pronto habrán observado las oscilaciones solares durante el tiempo y con la profundidad suficientes para determinar la temperatura y la rotación en el centro del Sol. Además, durante los próximos años aumentará la agitación interior y la consiguiente actividad magnética de la estrella, lo que puede tener un efecto directo en nuestra vida cotidiana. El SOHO podría ofrecernos beneficios científicos aún mayores; podría determinar cómo se forman esas amenazantes erupciones y los vientos fuertes y calientes, y predecir quizá las condiciones que reinarán en la atmósfera solar.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

SUN, EARTH AND SKY. Kenneth R. Lang, Springer-Verlag, 1995.

THE SOHO MISSION. Dirigido por Bernhard Fleck, Vicente Domingo y Arthur Y. Poland. Sección especial dedicada a la física solar, volumen 162, n.º 1-2, 1995.

LA DINAMO ESTELAR. Elizabeth Nesme-Ribes, Sallie L. Baliunas y Dmitry Sokoloff en *Investigación y Ciencia*, n.º 241, págs. 12-19, octubre, 1996.

UNSOLVED MYSTERIES OF THE SUN, Partes 1-2. Kenneth R. Lang en *Sky and Telescope*, vol. 92, n.º 2, páginas 38-42, agosto 1996; y vol. 92, n.º 3, págs. 24-28, septiembre 1996.

Pueden obtenerse imágenes del SOHO (y usarlas libremente mientras se cite la fuente) en el *World Wide Web*, http://sohowww.nascom.nasa.gov/.

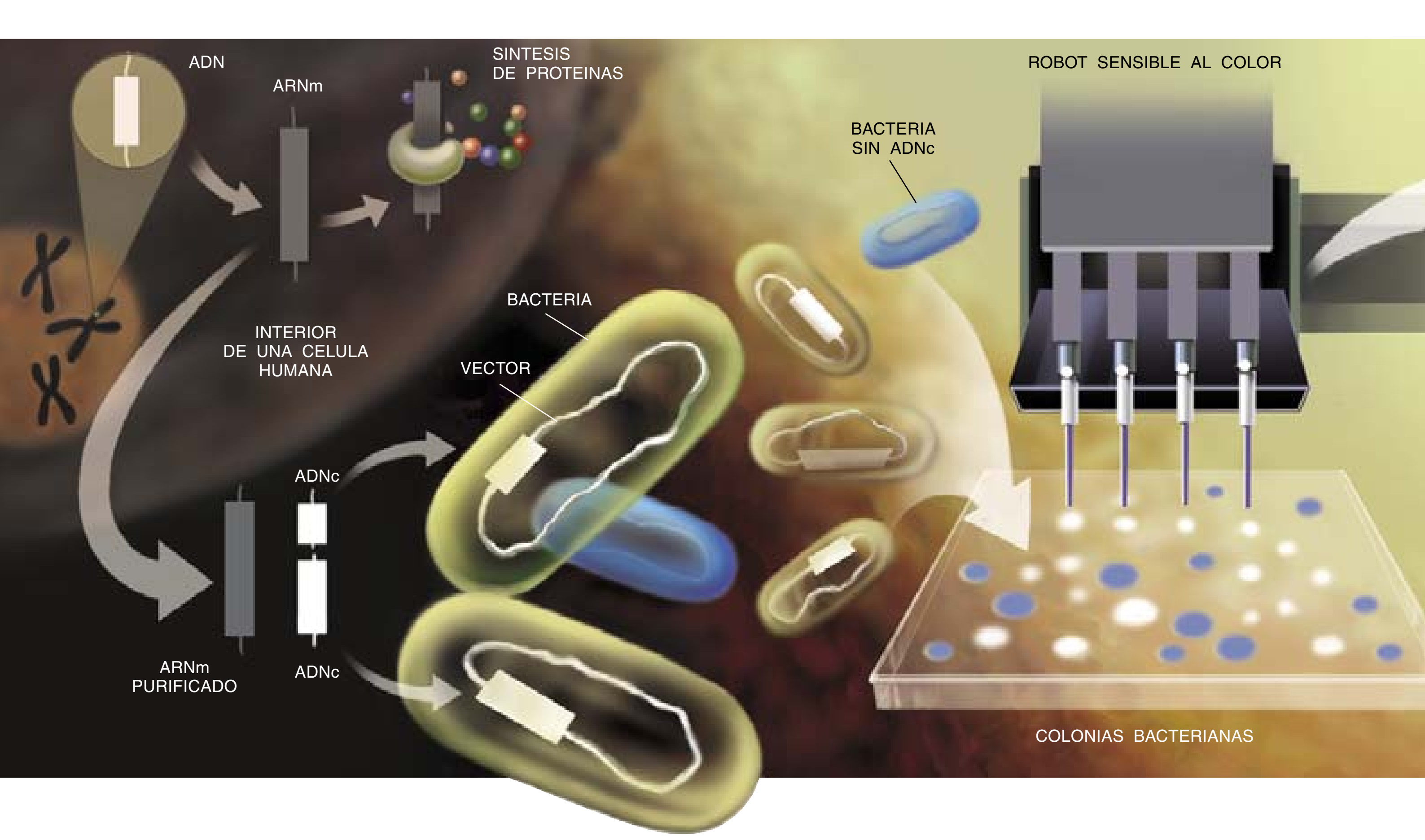
Búsqueda de genes para el diseño de nuevas medicinas

La identificación de genes humanos implicados en enfermedades permite a los investigadores producir proteínas potencialmente terapéuticas y acelerar el desarrollo de fármacos eficaces

William A. Haseltine

La mayoría de los lectores están familiarizados con la idea de que un gen es algo que transmite caracteres hereditarios de una generación a la siguiente. Lo que quizá no sepan es que la causa de la mayoría de las enfermedades, no sólo las hereditarias, se debe a un mal funcionamiento de los genes. En el cáncer, aterosclerosis, osteoporosis, artritis y enfermedad de Alzheimer, por ejemplo, se producen cambios específicos en las actividades de ciertos genes. Las enfermedades infecciosas suelen también provocar la activación de algunos genes del sistema inmunitario del paciente. Por último, la acumulación de daños en los genes, como resultado de toda una vida de exposición a radiaciones ionizantes y agentes químicos dañinos, guarda probable relación con cambios que se producen durante el envejecimiento.

Si supiéramos cuándo y en qué parte del cuerpo humano se activan los genes, razonamos unos colegas y yo hace algunos años, podríamos aplicar esos conocimientos para predecir, prevenir, tratar y curar enfermedades. Cuando un gen se activa, o se "expresa", como dicen los genéticos, la secuencia de unidades químicas, o bases, de su ADN dicta las órdenes necesarias para fabricar una proteína específica. Las proteínas dirigen todas las funciones celulares. Actúan como componentes estructurales, como catalizadores que llevan a cabo los múltiples procesos químicos de la vida y como elementos de control que regulan la reproducción y especialización celular, así como la actividad fisiológica en todos sus niveles. El desarrollo de un ser humano desde un huevo fecundado hasta el adulto



maduro es, en última instancia, el resultado de una serie de cambios ordenados en el patrón de expresión génica en los diferentes tejidos.

Saber cuáles son los genes que se expresan en los tejidos sanos y enfermos nos permitiría, por un lado, identificar las proteínas necesarias para el normal funcionamiento de los tejidos y, por otro, conocer las alteraciones que se producen en las enfermedades. Podríamos, por tanto, desarrollar nuevas estrategias para el diagnóstico de algunas enfermedades y crear fármacos capaces de modificar la actividad de las proteínas o genes afectados. Algunas de las proteínas y genes que identificásemos podrían también utilizarse por otros investigadores. Lo que estábamos imaginando venía a ser una suerte de anatomía molecular.

Teníamos claro desde el principio el enorme trabajo que supondría identificar todos los genes que se expresan en cada uno de los muchos tipos de tejidos del cuerpo. Una célula humana encierra unos 100.000 genes, de los cuales sólo una pequeña fracción (unos 15.000) se expresa en cada tipo de célula, si bien los genes que se expresan varían de un tipo celular a otro. Por esa razón, centrarse sólo en uno o dos tipos celulares no nos revelaría qué genes se están expresando en el resto del cuerpo. Teníamos que estudiar también tejidos en todos los estadios del desarrollo humano. Además, para identificar los cambios de expresión génica que contribuyen a las enfermedades, deberíamos analizar tejidos procedentes de individuos enfermos y de individuos sanos.

Para nuestra fortuna, los avances de la técnica habían facilitado este tipo de trabajo. Se puede conocer con cierta facilidad qué genes se expresan en determinado tejido. La estrategia diseñada por nosotros permite, además, identificar con gran rapidez genes de interés clínico. Fijémonos, por ejemplo, en la aterosclerosis. Esta enfermedad común se caracteriza por la acumulación de una sustancia grasa, denominada placa, en la luz de las arterias, principalmente en las que alimentan el corazón. Con nuestra estrategia podemos generar una lista de los genes que se expresan en las arterias normales y saber cuánto se expresa cada uno de ellos. Podemos comparar esa lista con otra similar obtenida de pacientes con aterosclerosis. Las diferencias entre las listas nos revelarán los genes (y por tanto las proteínas) implicados en la enfermedad. Nos indicarán también qué efecto ha ejercido la enfermedad sobre la expresión de los genes, si la ha reforzado o disminuido. Los investigadores pueden entonces producir, *in vitro*, las proteínas humanas determinadas por esos genes.

Una vez sintetizada la proteína en su forma pura, se prepara un ensayo para detectar la presencia de la misma en un paciente. Por seguir con el ejemplo, un ensayo que detectara la sobreproducción de una proteína presente en las placas pondría de manifiesto uno de los signos tempranos de la aterosclerosis, cuando los tratamientos son más eficaces. Además, los farmacólogos pueden utilizar las proteínas purificadas para fabricar nuevos fármacos. Un compuesto químico que inhiba la producción de una proteína presente en una placa puede considerarse un fármaco contra la aterosclerosis.

Nuestra aproximación, que yo denomino genómico-médica, se sale un tanto de las principales corrientes de investigación en genética humana. Son muchos los expertos enrolados en el Proyecto Genoma Humano, un empeño internacional dirigido a descubrir la secuencia completa de bases químicas del ADN humano. Esta información, de gran valor para los estudios evolutivos y de expresión génica, resultará especialmente útil para las investigaciones sobre enfermedades hereditarias. Sin embargo, el proyecto genoma no es el camino más rápido de descubrir

MOLECULAS DE ADNc SEPARADAS

Así se fabrican y purifican moléculas de ADNc

Las c lulas utilizan el ARN mensa ero para sintetizar prote nas. Nuestra estrategia para descubrir genes consiste en crear copias de ADN complementario (ADNc) del ARN mensa ero. Para determinar la secuencia de bases de los ADNc debemos clonar abricar un gran n mero de copias de cada uno de ellos. Los bi logos moleculares an desarrollado t cnicas para insertar ADNc en bucles especiales de ADN, vectores ue se replican dentro de las bacterias. Una colecci n de mol culas de ADNc de un te ido determinado constitu e una genoteca.

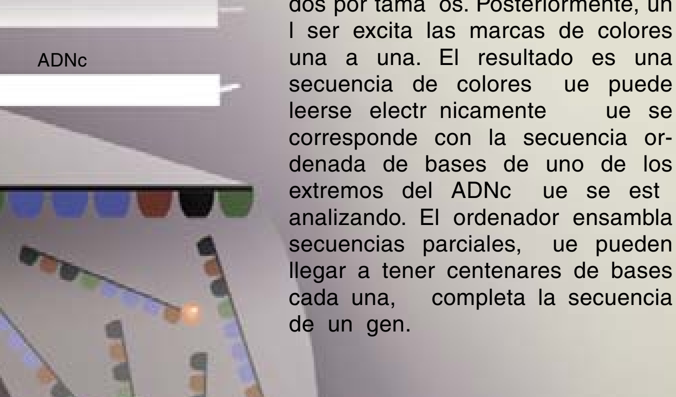
Los investigadores de HGS an preparado genotecas de ADNc umano de casi todos los rganos te idos normales tambi n de muc os a ectados por alguna en ermedad. Para conseguir copias de una genoteca, los vectores se introducen multiplican en bacterias.

Las bacterias se inoculan despu s en ca as con un gel nutritivo para ue se repli uen ormen colonias. Cada colonia deriva de una sola bacteria. A continuaci n, utilizamos un robot ue autom ticamente reconoce separa del gel las colonias ue an incorporado una mol cula de ADNc. Para ello, el robot se gu a por el color. Los vectores ue utilizamos est n dise ados de tal manera ue, si no consiguen combinarse con un ADNc, producen un pigmento azul. El robot, ue es capaz de analizar asta 10.000 colonias al d a, identi ica las ue contienen ADNc umano evitando las colonias azules. El ADNc de cada colonia seleccionada, debidamente multiplicado, se puri ica autom ticamente.

W. A. H.

Obtención de una secuencia parcial de ADNc

Para generar secuencias parciales de ADNc, a ue descomponer u micamente las mol culas de ADNc asta generar una colecci n de ragmentos cu as longitudes di ieren en una sola base. Durante ese proceso, la base presente en uno de los extremos de cada ragmento se combina con un colorante luorescente. Existen cuatro tipos de colorantes, uno por cada tipo de base. Las m uinas ordenan los ragmentos marcados por tama os. Posteriormente, un l ser excita las marcas de colores una a una. El resultado es una secuencia de colores ue puede leerse electr nicamente ue se corresponde con la secuencia ordenada de bases de uno de los extremos del ADNc ue se est analizando. El ordenador ensambla secuencias parciales, ue pueden llegar a tener centenares de bases cada una, completa la secuencia de un gen.



genes, ya que la mayoría de las bases que integran el ADN no forman parte de los genes propiamente dichos. Tampoco pondrá de manifiesto el proyecto genoma qué genes están implicados en enfermedades.

En 1992 creamos una compañía, Human Genome Sciences (HGS), para poner en obra nuestras ideas. De entrada se trataría de un proyecto conjunto entre HGS y el Instituto para la Investigación del Genoma, una organización sin ánimo de lucro financiada por HGS. Al director de ese instituto, J. Craig Venter, se deben algunas de las ideas claves en la investigación genómica. Seis meses después, SmithKline Beecham, uno de los principales laboratorios farmacéuticos del mundo, se unió al proyecto, para al cabo del primer año seguir trabajando por su cuenta. Posteriormente se nos asociaron Schering-Plough, Takeda Chemical Industries de Japón, Merck KGaA de Alemania y la francesa Synthelabo.

Alguien podría preguntarse por qué nos preocupábamos por los genes, si lo importante a la hora de desarrollar nuevos fármacos son las proteínas que aquéllos determinan, y no los propios genes. Bastaría con analizar directamente las proteínas producidas por cada célula. Sin embargo, el simple hecho de conocer la composición proteínica de una célula no nos permite desarrollar fármacos. Para ello, hay que poder fabricar cantidades substanciales de las proteínas que interesan, lo que exige, a su vez, aislar los genes correspondientes e introducirlos en células que sean capaces de expresar dichos genes en grandes cantidades.

Nuestra estrategia de búsqueda de genes tiene como punto de partida un producto intermediario crítico, que se forma en las células cuando se expresa un gen. Ese producto intermediario es el ARN mensajero (ARNm). Lo mismo que el ADN, consta de secuencias de cuatro bases. Cuando la célula fabrica el ARNm correspondiente a un gen, copia la secuencia de bases del ADN del gen en cuestión. La molécula de ARNm sintetizada sirve luego de molde para construir la proteína específica que el gen cifra. La importancia del ARNm radica en que la célula lo fabrica sólo cuando el gen correspondiente se halla activo. Conociendo la secuencia de bases del ARNm podemos aislar el gen y fabricar la proteína que cifra.

Pero no resulta fácil manipular el ARNm. De ahí que no trabajemos con éste, sino con copias estables

de ADN obtenidas a partir de dichos ARNm. Estas copias se denominan ADN complementario (ADNc) de las moléculas de ARNm. Para fabricar los ADNc seguimos un proceso inverso al que cursan las células para fabricar ARNm a partir del ADN.

Las copias de ADNc así fabricadas suelen ser réplicas de fragmentos de los ARNm, no de las moléculas completas, ya que éstas pueden llegar a tener varios miles de bases. De hecho, podemos obtener ADNc procedentes de distintas partes de un mismo gen. No obstante, en la práctica, podemos estar seguros de que un ADNc que contenga poco más de mil bases es suficiente para identificar en exclusiva a un gen. Y es así porque resulta altamente improbable que dos genes diferentes compartan una secuencia idéntica de miles de bases. De la misma manera que un capítulo de un libro tomado al azar identifica inequívocamente a la obra, una molécula de ADNc identifica al gen de donde procede.

Una vez que hemos conseguido un ADNc, podemos hacer las copias que queramos. De esa manera podemos conseguir suficiente material para poder determinar su secuencia de bases. Como conocemos las reglas que las células utilizan para traducir secuencias de ADN en las secuencias de aminoácidos que constituyen las proteínas, el orden de las bases nos dicta la secuencia de aminoácidos del correspondiente fragmento de proteína. Posteriormente, esa secuencia se compara con todas las secuencias de proteínas conocidas, lo que a veces aporta información sobre la función de la proteína completa, ya que las proteínas que comparten secuencias de aminoácidos similares suelen realizar funciones parecidas.

La de analizar secuencias de ADNc puede convertirse en una tarea lenta, si bien en los últimos años se han desarrollado instrumentos que ejecutan el trabajo de una forma fiable y automática. Necesitábamos, además, otras mejoras técnicas para que nuestra estrategia fuera factible. Los equipos de secuenciación, cuando operan a la escala que estábamos contemplando, generan una cantidad inmensa de datos. La suerte es que ahora contamos con máquinas capaces de manejar esa información y estamos desarrollando programas que nos ayuden a encontrarle sentido a tamaño aluvión de datos.

Para identificar los genes que se expresan en una célula, se analizan las 300 a 500 primeras bases de uno de los extremos de cada molécula de ADNc. Esas secuencias parciales de los ADNc sirven de marcadores de los genes y a veces se denominan "secuencias expresadas marcadas". Hemos elegido esa longitud para nuestras secuencias parciales de ADNc porque es lo suficientemente corta como para que el análisis sea rápido, pero también lo suficientemente larga como para que identifique a un gen sin ambigüedades. Si asociamos una molécula de ADNc a un capítulo de un libro, una secuencia parcial sería la primera página del capítulo. Con ella se puede identificar el libro e incluso nos puede dar una idea sobre su argumento. De la misma manera, las secuencias parciales de ADNc pueden decirnos cosas sobre el gen del que proceden. En HGS producimos, cada día, casi un millón de bases de secuencias "en rama".



1. PROPORCIONES DE GENES dedicados a las principales tareas que se llevan a cabo en una célula humana, según se deduce de un estudio de 150.000 secuencias parciales. El criterio utilizado para asignar provisionalmente cada una de las funciones fue la similitud con otros genes, humanos o no, de función conocida.

Nuestro método es muy eficaz. En cinco años no completos hemos identificado miles de genes, muchos de los cuales podrían intervenir en alguna enfermedad. Otros investigadores han iniciado también programas para generar secuencias parciales de ADNc.

Los ordenadores de HGS reconocen que muchas de las secuencias parciales que producimos corresponden a algunos de los 6000 genes que otros expertos han identificado por medios distintos. Otras corresponden a un gen que nosotros habíamos identificado con anterioridad. Cuando no podemos asignar una nueva secuencia parcial a un gen ya conocido, la cosa se vuelve más interesante. En esos casos, nuestros ordenadores realizan una búsqueda en todas las bases de datos disponibles, incluidas las nuestras, para comprobar si la nueva secuencia parcial se solapa con alguna previamente descrita. Cuando encontramos un solapamiento claro, disponemos las secuencias parciales solapantes en segmentos "contiguos", de longitud creciente. Los contiguos son, por tanto, secuencias incompletas que, según inferimos, deben estar presentes en alguna parte de algún gen. Este proceso evoca al que podríamos llevar a cabo si tomamos de un texto frases como "..lugar de la Mancha.." y "...Mancha, de cuyo nombre.." y las combinamos después en un fragmento reconocible de *El Quijote*, de Miguel de Cervantes.

Al mismo tiempo, intentamos deducir la función verosímil de la proteína correspondiente a la secuencia parcial. Una vez realizada la predicción sobre la estructura de la proteína, la clasificamos según su parecido con las estructuras de otras proteínas conocidas. A veces encontramos que una secuencia coincide con otra proteína humana, pero no es raro que se parezca a la de una bacteria, hongo, planta o insecto. Otros organismos producen muchas proteínas con funciones similares a las humanas. Nuestros ordenadores están continuamente actualizando estas clasificaciones provisionales.

Hace unos tres años, teníamos caracterizados cuatro contiguos. Tras compararlos con las bases de datos, hicimos la predicción de que los genes correspondientes a cada uno de ellos deberían producir proteínas similares a las que en bacterias y levaduras se encargan de corregir mutaciones que se producen en el ADN. Nos decidimos a caracterizar la secuencia completa de los cuatro genes, que presumíamos importantes, ya que se sabía que los fallos en la reparación de mutaciones podían producir cáncer de colon. Cuando cierta autoridad en cáncer de colon nos pidió ayuda para identificar genes que pudiesen intervenir en esa enfermedad, de los cuales él conocía uno de ellos, pudimos avanzarle que ya estábamos trabajando con otros tres candidatos posibles.

Posteriores investigaciones han confirmado que mutaciones en cualquiera de esos cuatro genes pueden causar cáncer de colon, ovario o endometrio. Una de cada 200 personas, de América del Norte y Europa, porta una mutación en uno de esos genes encargados de reparar errores que se



2. ROBOT utilizado para distinguir colonias bacterianas que portan secuencias de ADN humano. El aparato desecha las colonias azules, que son las que no contienen esas secuencias. Mediante análisis de las secuencias presentes en las bacterias, se llega a la identificación de los genes humanos.

producen en el ADN. Sabiendo esto, los expertos pueden poner a punto pruebas para analizar ese tipo de genes en las personas que tienen algún familiar con esos tipos de cánceres. Si la persona analizada presenta alguna predisposición genética a la enfermedad, se la somete a un seguimiento más estrecho. La detección precoz de un tumor resulta vital, ya que se puede eliminar quirúrgicamente. Este tipo de pruebas se utilizan ya en programas de investigación clínica para identificar personas que presentan algún riesgo.

Nuestras bases de datos recogen más de un millón de secuencias génicas parciales derivadas de ADNc, agrupadas en 170.000 contiguos. Creemos que tenemos secuencias parciales de casi todos los genes humanos que se expresan. Y lo creemos porque, cuando los investigadores registran secuencias génicas en las bases de datos públicas, comprobamos que en el 95 por ciento de los casos nosotros ya poseemos una secuencia parcial de ellas. Con frecuencia, agrupando varias secuencias parciales se deja al descubierto algún gen nuevo. En conjunto, más de la mitad de los nuevos genes que identificamos se parecen a algún gen con función conocida. Con el tiempo, esta proporción habrá de ir en aumento.

Si un tejido produce un número extraordinario de secuencias de ADNc que derivan del mismo gen, se nos está diciendo que ese gen produce una gran cantidad de ARNm. Esto suele suceder cuando las células sintetizan grandes cantidades de la proteína correspondiente, lo que a su vez es una señal de que la proteína puede estar desempeñando una función vital. HGS presta también una atención especial a los genes que sólo se expresan en un tipo particular de tejido, o en muy pocos de ellos, pues muy probablemente esos genes tienen que ver con enfermedades que afectan a dichos tejidos. De los miles de genes que hemos descubierto, hay unos 300 que parecen revestir un interés clínico particular.

Utilizando este tipo de aproximación, basada en secuencias parciales de ADNc, se ha podido estimar cuántos genes participan en las funciones de defensa, metabolismo y otras de parecida importancia celular. Tamaña cantidad de información sobre secuencias parciales de ADNc que se está almacenando, abre una nueva gama de posibilidades para la biomedicina, muchas de las cuales son objeto de exploración sistemática.

Bases de datos como las nuestras son muy útiles para descubrir proteínas que sirvan como marcadores de enfermedades. Lo vemos en el cáncer de próstata. Uno de los ensayos utilizados para detectar cáncer de próstata se basa en la medición de los niveles en sangre de cierta proteína, el antígeno específico de próstata. Los pacientes que tienen cáncer de próstata suelen presentar niveles muy altos de esa proteína. Mas, para nuestro infortunio, los tumores benignos, de crecimiento lento, y los malignos, que precisan de una terapia agresiva, pueden producir niveles elevados del antígeno, razón por la cual el ensayo es ambiguo.

HGS y sus asociados han analizado ARNm de muchas muestras de tejidos sanos de próstata y de tumores de próstata benignos y malignos. Hemos encontrado unos 300 genes que se expresan en la próstata, pero no en otros tejidos. De tales genes, casi 100 son activos sólo en los tumores de próstata y una veintena se expresan exclusivamente en tumores considerados malignos. Ahora utilizamos esos 20 genes y sus productos proteicos para poner a punto ensayos que nos permitan identificar los tumores malignos de próstata. Estamos llevando a cabo una estrategia similar para los cánceres de mama, pulmón, hígado y cerebro.

Las bases de datos de secuencias parciales de ADNc valen también para identificar los genes responsables de enfermedades raras. Desde hace tiempo se sabe que cierta forma de ceguera infantil se debe a un defecto hereditario relacionado con el metabolismo de la galactosa. Una búsqueda en nuestra base de datos identificó dos genes humanos, de los que no se tenía noticia, cuyas proteínas correspondientes eran previsiblemente similares a ciertas enzimas que, en levaduras y bacterias, aparecían implicadas en el metabolismo de dicho azúcar. No tardó en confirmarse que ese tipo de ceguera venía determinado por un defecto hereditario en uno u otro de esos dos genes. En el futuro, las enzimas o los propios genes podrían emplearse para prevenir la enfermedad.

Las secuencias parciales de ADNc constituyen una herramienta poderosísima para la búsqueda de micromoléculas con capacidad terapéutica. Los métodos para crear y ensayar esos fármacos diminutos han mejorado espectacularmente en los últimos años. Hay equipos automáticos que analizan en un santiamén compuestos sintéticos y naturales y comprueban si afectan a una proteína humana implicada en alguna enfermedad. No obstante, el limitado número de posibles proteínas diana frena el desarrollo de ese tipo de estrategias. Cuantas más proteínas humanas se investiguen, más se podrá avanzar en esa línea. Y nuestro trabajo está colaborando a ello. De hecho, suminis-

WILLIAM A. HASELTINE es presidente y director ejecutivo de Human Genome Sciences, en Rockville. Posee un doctorado en biofísica por la Universidad de Harvard y de 1976 a 1993 fue profesor del Instituto Dana-Faber de Investigaciones Oncológicas y de la Facultad de Medicina de Harvard.

tramos a Smith-Kline Beecham más de la mitad del material que utilizan en la búsqueda de nuevos productos de interés potencial.

Las bases de datos del estilo de las nuestras no sólo facilitan el escrutinio aleatorio en busca de moléculas eficaces. El conocimiento de la estructura de una proteína permite diseñar drogas que interaccionen de forma específica con la proteína. Se acude a esta técnica, denominada diseño racional de fármacos, para crear nuevos inhibidores de proteasas que han mostrado su eficacia contra el VIH (nuestras bases de datos no han tenido que ver en ello). Confiamos en que las secuencias parciales de ADNc posibilitarán una atención mayor al diseño racional de fármacos.

Proteína	Actividad	Posibles aplicaciones
Factor de crecimiento de ueratinocitos	Estimula la regeneraci n de la piel	Cicatrizar eridas, estimular el crecimiento capilar, proteger contra los e ectos secundarios de la uimioterapia
Prote na in ibidora 1 del progenitor del mieloide	Previene la destrucci n de las c lulas de m dula sea ocasionada por la uimioterapia	Protecci n contra los e ectos secundarios de la uimioterapia
Factor de crecimiento de las neuronas motoras	Previene la muerte traum tica de las neuronas motoras	Tratamiento de la en ermedad de Lou Ge rig, da os traum ticos al sistema nervioso, accidentes cerebrovasculares atro ia muscular debida al enve ecimiento
Factor in ibidor de monocitos	In ibe a los macr - agos	Tratamiento de la artritis reumatoide otras en ermedades autoinmunitarias relacionadas con los macr agos

3. PROTEINAS HUMANAS producidas a partir de genes descubiertos en Human Genome Sciences. Se presentan algunas que han demostrado ya su eficacia en células humanas aisladas y en animales de laboratorio. Se están sometiendo a ensayo para evaluar sus posibilidades terapéuticas.

En los osteoclastos podemos ejemplificar el servicio que prestan nuestras bases de datos. Estas células habituales de los huesos producen una enzima capaz de degradar el tejido óseo. Ciertas enfermedades, así la osteoartritis y la osteoporosis, producen la enzima en demasía. En nuestros ordenadores encontramos una secuencia de un gen que se expresaba en osteoclastos, que parecía cifrar la enzima destructora. Su secuencia era similar a la de un gen conocido que determina una enzima degradadora del cartílago. Por último, confirmamos que el gen de osteoclastos era el responsable de la enzima degradadora y demostramos que no se expresaba en otros tejidos. Los resultados no carecían de interés: permitían diseñar procedimientos para atacar la proteína sin preocuparnos de que pudiese perjudicar a otros tejidos. Fabricamos la proteína y Smith-Kline Beecham la utilizó en un programa de búsqueda de posibles terapias, combinando las técnicas de escrutinio rápido y diseño racional de fármacos. La compañía se ha apoyado también en nuestros datos para buscar moléculas eficaces contra la aterosclerosis.

Desde un punto de vista médico, los receptores asociados a proteínas G son un auténtico filón de genes y proteínas. Las G atraviesan la membrana exterior de la célula, reciben señales biológicas procedentes de otras células y las transmiten al interior celular. Con toda seguridad, los fármacos capaces de inhibir tales receptores vitales podrán utilizarse para tratar la hipertensión, úlceras, migraña, asma, el resfriado común y trastornos psiquiátricos. La HGS ha encontrado más de 70 nuevos receptores asociados a proteínas G. Ahora estamos comprobando sus efectos, introduciendo en las células los genes para esos receptores y evaluando cómo las células que sintetizan las correspondientes proteínas responden a diversos estímulos. Hay dos genes de interés particular: determinan proteínas que parecen estar críticamente implicadas en la hipertensión y en la diabetes adulta. Nuestros socios de la industria farmacéutica buscan ya micromoléculas que inhiban las señales biológicas transmitidas por esos receptores.

Por último, creemos que algunos genes y proteínas humanas que estamos descubriendo, quizá con algunas modificaciones, serán ellos mismos la base de algunas nuevas terapias. Muchas proteínas humanas se utilizan ya como fármacos. La insulina y el factor coagulante para los hemofílicos son dos ejemplos conocidos. Las proteínas que estimulan la producción de eritrocitos se emplean también para acelerar la recuperación de los pacientes tras quimioterapia.

Proteínas de unos 200 genes totalmente caracterizados por HGS tienen posibles aplicaciones médicas. Hemos sintetizado ya la mayoría de esas proteínas y hemos puesto a punto ensayos para medir su actividad celular. Algunas están dando también resultados muy prometedores en ensayos con animales de experimentación. Entre esas proteínas hay varias quimiocinas, moléculas que estimulan el sistema inmunitario.

El desarrollo farmacéutico nunca será un proceso rápido, porque las medicinas, ya sean proteínas, genes o micromoléculas, deben someterse a ensayos exhaustivos. Las secuencias parciales de ADNc pueden, no obstante, acelerar el descubrimiento de nuevos agentes terapéuticos.

Gracias a la utilización sistemática de los procedimientos automáticos e informáticos desarrollados para buscar genes se ha alcanzado una visión global de dónde se expresan los genes, o lo que es lo mismo, la anatomía de la expresión génica humana.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

INITIAL ASSESSMENT OF HUMAN GENE DIVERSITY AND EXPRESSION PATTERNS BASED UPON 83 MILLION NUCLEOTIDES OF cDNA SEQUENCE. Mark D. Adams *et al.* en *Nature*, volumen 377, suplemento, págs. 3-174; 28 de septiembre, 1995.

A cDNA ENCODING THE CALCITONIN GENE-RELATED PEPTIDE TYPE 1 RECEPTOR. Nambi Aiyar *et al.* en *Journal of Biological Chemistry*, volumen 271, n.º 19, págs. 11325-11329; 10 de mayo, 1996.

CATHEPSIN K, BUT NOT CATHEPSINS B, L, OR S, IS ABUNDANTLY EXPRESSED IN HUMAN OSTEOCLASTS. Fred H. Drake *et al.* en *Journal Biological Chemistry*, vol. 271, n.º 21, págs. 12511-12516; 24 de mayo, 1996.

Plantas endotérmicas

Algunas plantas producen un calor extraordinario cuando florecen. Las hay incluso que regulan su temperatura dentro de estrechos márgenes, de forma muy parecida a los animales de sangre caliente

Roger S. Seymour

En la primavera de 1972, George A. Bartholomew, una autoridad en fisiología animal, invitó a un grupo de alumnos y colaboradores de la Universidad de California en Los Angeles a una comida de confraternización. Entre los llamados se encontraba Daniel K. Odell, hoy en Sea World, Florida. Camino del ágape, Dan observó unas flores extrañas. Consistían en una proyección faloide de unos 25 centímetros de longitud, envuelta parcialmente por una estructura foliácea. Intrigado, arrancó una para enseñársela a sus compañeros. Cuando nos tendió la flor a Kenneth A. Nagy y a mí, nos quedamos asombrados nada más tocarla: estaba caliente. Y lo que resultaba más inesperado, despedía más calor conforme avanzaba la tarde y parecía superar la temperatura del cuerpo humano. Como zoólogos que éramos, el fenómeno nos desconcertó. ¿Cómo era posible que una simple planta despidiera por sí misma más calor que el pináculo de la evolución biológica, el animal de sangre caliente?

Desde aquel momento, me he dedicado al estudio de las plantas "endotérmicas" siempre que he podido robar tiempo a mis ocupaciones zoológicas. Sigo asombrándome ante lo que mis colegas, yo mismo y otros investigadores hemos descubierto. Entre tales hallazgos subrayaré uno: algunas plantas generan tanto calor por unidad de peso como los insectos y las aves en vuelo, que son los mayores productores de calor. Hay plantas incluso que regulan su propia temperatura, se termorregulan, cual si habláramos de aves o mamíferos; no sólo generan calor, sino que modifican su producción para mantener constante la temperatura en un entorno de temperatura cambiante.

No fuimos los primeros en percatarnos de que algunas plantas producían calor. Cuando nos sumergimos en la bibliografía, vimos que casi 200 años antes, en 1778, el naturalista francés Jean-Baptiste de Lamarck había escrito que el aro europeo, probablemente *Arum italicum*, despedía calor cuando florecía. Esta planta pertenece a la extensa familia de las Aráceas, a la que pertenece *Philodendron*, la planta que Dan había arrancado. También incluye la col fétida, la dragontea y otras muy conocidas. En estas plantas aroideas, la "flor" se llama espádice. No se trata de una flor propiamente dicha, sino de una inflorescencia, o agrupación de pequeñas flores. El espádice aroideo, que consta de cientos de florecillas dispuestas sobre un pedúnculo común, está parcialmente envuelto por una gran bráctea —una hoja especializada— llamada espata. La "flor" de Dan —de *P. selloum*— era, por tanto, no una flor, sino una inflorescencia.

Se han descubierto otras especies de esta extraña familia que también despiden calor. Pero esa propiedad, aunque menos intensa, no es exclusiva de aroideas; la presentan flores del lirio acuático del Amazonas y de la chirimoya, las inflorescencias de ciertas palmeras y las piñas masculinas de algunas cicadáceas (unas plantas con aire de palmeras intermedias entre los helechos y las plantas superiores). Bastiaan J. D. Meeuse, de la Universidad de Washington, y otros han descubierto los sistemas por los que las células de varias plantas generan calor.

Para generar calor, las aroideas activan dos rutas metabólicas en las mitocondrias, los orgánulos que constituyen las centrales energéticas de las células. Estas rutas se distinguen por su sensibilidad al cianuro. La vía que sufre el envenenamiento por este compuesto químico es común a plantas y animales; la que es insensible al cianuro aparece en las plantas productoras de calor, en algunas otras plantas, en los hongos y en determinados organismos unicelulares. Ambas rutas usan oxígeno y nutrientes para sintetizar una molécula rica en energía, el ATP (trifosfato de adenosina); este metabolito puede descomponerse a continuación para producir la energía requerida por la actividad celular o para generar calor. Sin embargo, no está claro hasta qué punto las células aroideas que elevan su temperatura lo hacen fabricando

1. SOLO SE CONOCEN tres plantas que regulen su temperatura. Muestran esa habilidad las flores de *Philodendron selloum*, *Symplocarpus foetidus* (col fétida) y *Nelumbo nucifera* (loto).

Philodendron selloum

Temperatura de la flor: 38 a 46 grados C
En temperatura ambiente de: 4 a 39 grados C
Período de regulación: 18 a 24 horas

primero ATP y luego degradándolo, o bien liberan directamente calor desde las rutas metabólicas sin producir ATP intermediario.

Empezamos por examinar *P. selloum* desde un punto de vista completamente distinto. En vez de abordar células individuales o moléculas, modo de proceder habitual entre los botánicos, estudiamos las inflorescencias como si fueran animales enteros. El laboratorio de Bartholomew en la UCLA llevaba a cabo estudios comparativos de la producción de calor y de la regulación de la temperatura corporal en animales; teníamos, pues, a nuestra disposición el equipo y la metodología necesarios. Además, había muchas plantas de *P. selloum* en flor debajo mismo de la ventana de nuestro laboratorio, lo que nos daba acceso fácil a nuestros sujetos de estudio.

Nuestros primeros experimentos, llevados a cabo por pura curiosidad, pretendían poco más que determinar si la inflorescencia había generado realmente tanto calor como nos había parecido durante la fiesta. Atravesamos espádices con sondas de temperatura y las conectamos a una máquina del laboratorio que registraba la temperatura continuamente. Durante el período medido, el aire exterior estaba a una media de 20 grados C y la temperatura del espádice se mantuvo unos 20 grados más alta, casi a 40 grados. Por supuesto, la inflorescencia estaba más caliente que su entorno y que cualquier persona.

El tema nos subyugó tanto, que queríamos conocerlo más a fondo. Por ejemplo, ¿hasta dónde llegaba la capacidad de producir calor de *P. selloum*? Como no podíamos controlar la temperatura exterior, arrancamos algunos especímenes y los llevamos dentro del laboratorio, donde pudiéramos controlar la temperatura a voluntad. Alojados en recipientes idóneos podíamos, asimismo, examinar la tasa de producción de calor de la planta por el simple procedimiento de medir su tasa de consumo de oxígeno.

Confiábamos en la aplicación del consumo de oxígeno como medidor por la estrecha conexión que hay entre uso de oxígeno y generación de calor. En los animales, cada mililitro de oxígeno consumido resulta en unos 20 joule de calor. De esta manera, la tasa de uso de oxígeno puede convertirse rápidamente en la tasa de producción de calor en watt (joule por segundo).

Examinamos la inflorescencia desde una temperatura ambiente por debajo de cero hasta temperaturas sofocantes para los seres humanos. En los extremos más fríos, algunas inflorescencias no generaban calor en absoluto. Pero sus temperaturas saltaron hasta 38 grados C cuando el entorno estaba aún a sólo 4 grados C, una diferencia de temperatura de 34 grados entre la inflorescencia y el medio. Los espádices adquirieron todavía mayor calor conforme subía la temperatura, pero la diferencia se hacía menos espectacular. Las inflorescencias tuvieron un pico a 46 grados C cuando el interior de la caja estaba a la tropical temperatura de 39 grados. Lo que es más: la tasa estimada de producción de calor bajó conforme aumentaba la temperatura del entorno.

Era obvio que la planta estaba ajustando la producción de calor para mantener la temperatura en tiempo frío y evitar el sobrecalentamiento en condiciones cálidas. De lo que se desprendía una conclusión asombrosa: aquellas inflorescencias no se limitaban a producir calor. Igual que las aves y los mamíferos, de sangre caliente, se estaban termorregulando.

Dos años después de descubrirse la termorregulación en *P. selloum*, Roger M. Knutson publicaba que el espádice de la col fétida, *Symplocarpus foetidus*, mantenía su temperatura entre 15 y 22 grados C a lo largo de por lo menos dos semanas durante febrero y marzo, cuando la temperatura exterior está bajo cero: se dice que la planta derrite la nieve a su alrededor. El año pasado, en la Universidad de Adelaida, Paul Schultze-Motel y yo descubrimos que la flor del loto, *Nelumbo nucifera*, mantiene su temperatura a unos 32 grados C durante dos a cuatro días en medio del verano, su época de floración, incluso cuando la temperatura externa baja a 10 grados C. En este caso, el centro de la flor, esponjoso y coniforme, llamado receptáculo, produce la mayor parte del calor. El loto pertenece a una familia completamente distinta de *Philodendron* y de la col fétida, lo que da pie a pensar que el fenómeno de la termorregulación ha evolucionado independientemente en las aroideas y en el loto. (En Europa, algunas bulbosas que florecen al principio de la primavera son capaces también de fundir la nieve: por ejemplo, la iridácea *Crocus carpetanus*, del centro de España; o la amarilidácea *Galanthus nivalis*, cuyo nombre popular en Francia, "Perce-neige", refleja sus habilidades. N. del T.)

¿Por qué querrían termorregularse las plantas? En las aves y los

ROGER S. SEYMOUR, formado en la Universidad de California en Los Angeles, enseña zoología en la de Adelaida.

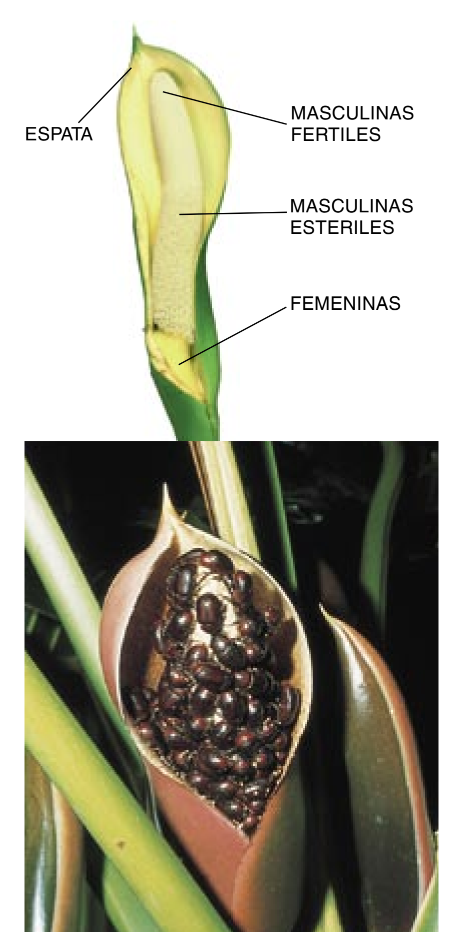
Col fétida

Temperatura de la flor: 15 a 22 grados C
En temperatura ambiente de: –15 a 10 grados C
Período de regulación: dos semanas o más

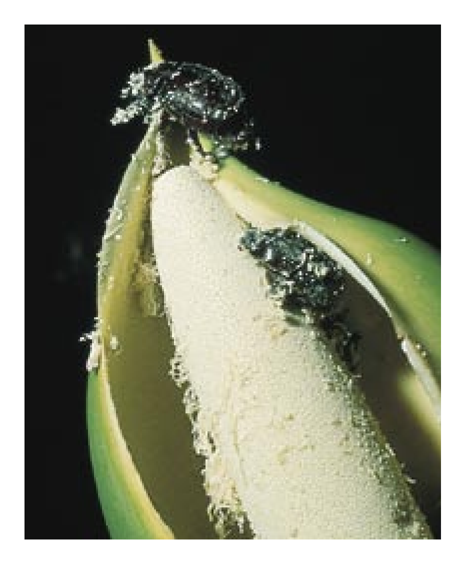


Loto

Temperatura de la flor: 30 a 37 grados C
En temperatura ambiente de: 10 a 35 grados C
Período de regulación: de dos a cuatro días







2. LOS ESCARABAJOS son los polinizadores naturales de *P. selloum*, cuya inflorescencia consta de tres tipos de florecillas: flores masculinas fértiles, masculinas estériles y femeninas, que crecen en un pedúnculo (*arriba a la izquierda*). Durante el período de termorregulación, la "espata" foliácea que rodea la inflorescencia se abre para que los insectos accedan a las flores (*abajo a la izquierda*). Los escarabajos arrastran polen sobre las flores femeninas fértiles, que están receptivas. Entonces, al enfriarse la planta, la espata se repliega sobre los insectos. Más tarde, la espata se vuelve a abrir un poco (*centro*), y las flores fértiles liberan polen. La pequeña abertura obliga a los escarabajos que quieren salir a arrastrarse sobre el polen (*derecha*), que se adhiere a ellos cuando se van camino de otras inflorescencias. Esta convergencia de los períodos reproductor y de calentamiento de la planta apoya la idea de que la termorregulación se desarrolló en *P. selloum* como recompensa para los escarabajos polinizadores.

mamíferos, la regulación de la temperatura proporciona el calor constante que necesitan las células para llevar a cabo las reacciones bioquímicas pertinentes. De este modo, los animales de sangre caliente, termorregulados, pueden mantener la actividad y seguir buscando alimento cuando el tiempo frío amortigua las reacciones celulares, y por tanto la actividad, de los animales de sangre fría como los reptiles. Las aves y los mamíferos, cuyos termostatos están puestos muy altos (cerca de 40 grados C), se aseguran de que sus tejidos generen energía a las altas tasas requeridas por un ejercicio prolongado como es correr o volar. Pero era evidente que había que buscar otra explicación para la regulación de la temperatura en flores sedentarias.

De acuerdo con los trabajos de quienes nos habían precedido se había lanzado la idea de que las aroideas, y no sólo ellas, generaban calor para vaporizar esencias que atraían a los insectos. La vaporización de sustancias atrayentes podría explicar en parte el sentido del calor en plantas que se termorregulan, pero no servía para justificar la subida o descenso de producción de calor con el fin de mantener la temperatura dentro de ciertos márgenes. Dos son las razones que, en nuestra opinión, dan cuenta de la aparición de la termoregulación en ciertas plantas.

Primera: podía crear un entorno cálido y estable para los polinizadores y favorecer así la reproducción. Los insectos que acarrean polen de una flor a otra requieren en general altas temperaturas corporales para el vuelo, la locomoción y las interacciones sociales; a menudo gastan mucha energía en mantener el calor interno. Los que visitan flores termógenas recibirían un nivel de calor estable directamente de la planta. Podrían comer, digerir, aparearse y llevar a cabo cualquier función sin tener que malgastar energía para mantener su calor.

Segunda: la propia flor podría necesitar una temperatura constante para el correcto desarrollo de sus estructuras reproductoras o para proteger órganos delicados del daño que podría causarles una producción incontrolada de calor.

Cualquiera de estas dos hipótesis podría explicar por qué una planta desarrolló la capacidad de termorregularse. De todos modos, la interacción entre *P. selloum* y los insectos polinizadores confiere alguna credibilidad a la idea de que la termorregulación en esta planta pudo adoptarse porque mejoraba la polinización. Esta interacción ha sido estudiada a fondo en Brasil, lugar de origen de la planta, por Gerhard Gottsberger, de la Universidad alemana de Ulm.

En la inflorescencia de *P. selloum* conviven tres tipos de flores. En la punta hay flores masculinas fértiles, productoras de polen. En la base hay flores femeninas, que desarrollan fruto si son polinizadas. Entre las femeninas y las masculinas, media una banda de flores masculinas estériles que proporcionan alimento a los insectos polinizadores y suministran la mayor parte del calor de la inflorescencia. Muy sugerentemente, el período de regulación de temperatura en la inflorescencia, 18-24 horas, se solapa con el período de receptividad de las flores femeninas a la polinización. Durante esas horas, la espata que rodea el espádice se abre y ofrece a los insectos polinizadores —principalmente escarabajos— un acceso fácil a las flores estériles, al calor y al alimento. Después, el espádice se enfría y la espata se cierra a su alrededor atrapando dentro a algunos escarabajos. Después de 12 horas, para cuando las flores femeninas están seguras de haber sido polinizadas, la flor se calienta otra vez, la espata se entreabre y las flores masculinas

fértiles liberan su polen. El polen se adhiere a los insectos, que huyen volando para repetir el ciclo. Esta secuencia aumenta la polinización cruzada y evita la autopolinización; mejora así la diversidad genética, lo que favorece el éxito reproductor.

El loto, igual que *P. selloum*, mantiene altas temperaturas mientras los estigmas están húmedos y receptivos y antes de que se libere el polen. El calentamiento precede a la apertura de los pétalos y termina cuando se abren del todo. La forma de la flor también es adecuada para la polinización por escarabajos. Pero no está claro hasta qué punto la termorregulación se desarrolló específicamente para ayudar a los escarabajos en su tarea. La duda surge porque no conocemos el medio natural de esta planta, ni si los escarabajos son los polinizadores principales en dicha área. Por otro lado, es evidente que la planta no depende de los escarabajos; la pueden polinizar otros insectos una vez los pétalos se han abierto y remite la producción de calor.

La manera en que se termorregulan las plantas no resulta menos fascinante que la razón de que lo hagan. La cuestión me la planteé cuando, a principios de los ochenta, decidí desentrañar la endotermia de *Philodendron*. Para resolver el problema, me asocié con Bartholomew y M. Christopher Barnhar. La respuesta no era obvia, en absoluto. Las plantas funcionan de una forma totalmente distinta de los animales.

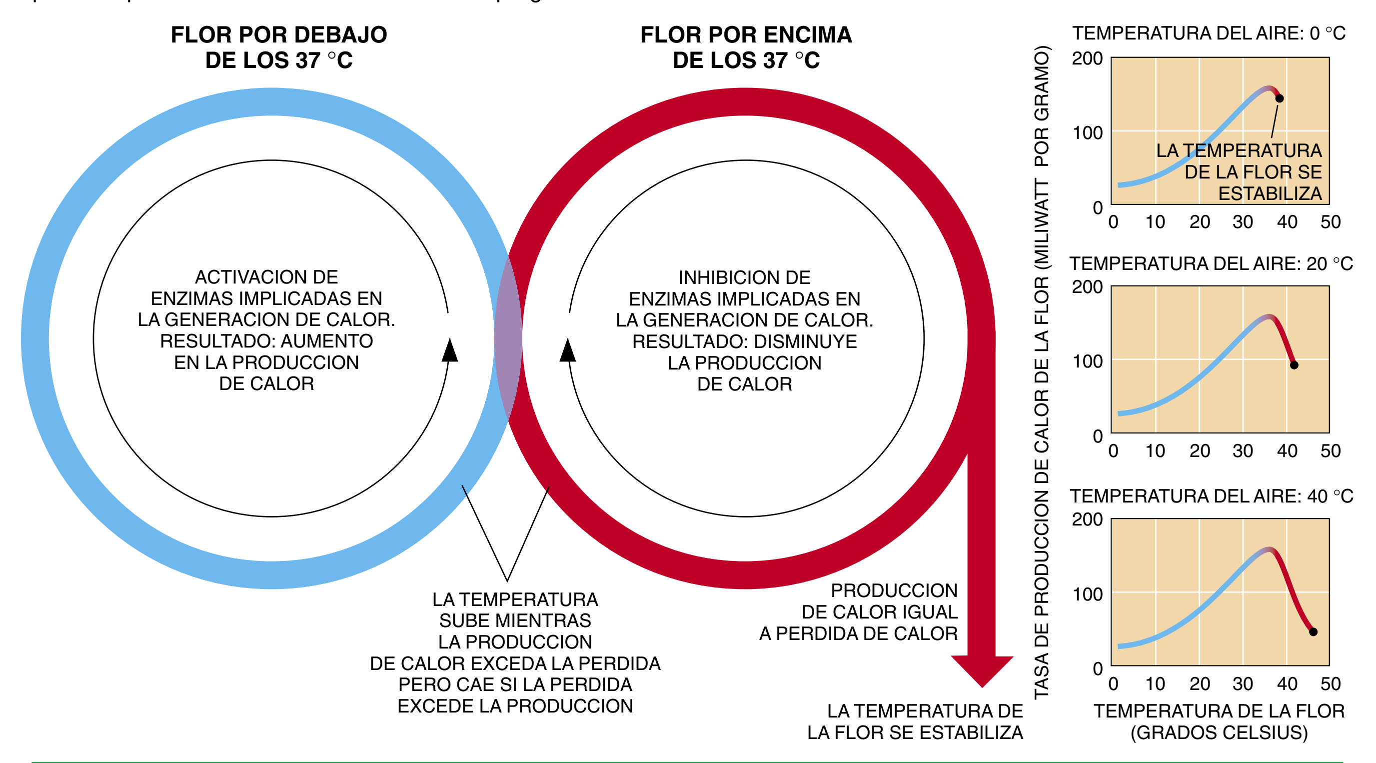
En los animales, la regulación de la temperatura es un asunto complejo. Requiere receptores de temperatura en muchos puntos del cuerpo y exige un sistema nervioso capaz de integrar toda la información recibida para indicar a las diversas partes del organismo que modifiquen en consecuencia su actividad. Por ejemplo, el sistema nervioso avisa a menudo a los animales que se ajusten a una caída en la temperatura ambiente esponjando su pelo o sus plumas, aumentando así su aislamiento y disminuyendo la pérdida de calor. Esta táctica sólo funciona hasta cierto punto, de manera que los animales también pueden aumentar su producción de calor cuando el entorno se vuelve más frío. Normalmente empiezan a tiritar, haciendo trabajar sus músculos obligándoles a consumir ATP. Calentar el cuerpo requiere también un aumento en las tasas de respiración y circulación sanguínea para aumentar el reparto de nutrientes y oxígeno a los tejidos productores de calor.

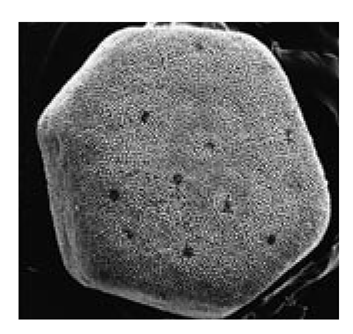
Pero las plantas no tienen pelo, ni plumas, ni sistema nervioso, ni músculos, ni pulmones, ni sangre, ni cerebro. ¿Cómo se las arregla, pues, *P. selloum* para subir y bajar su temperatura al objeto de mantener la inflorescencia en un margen de 38 a 46 grados C?

Había que empezar por conocer qué parte de la inflorescencia producía calor, un misterio entonces.

Así consigue *Philodendron* una temperatura estable

La inflorescencia de *Philodendron selloum* consigue una temperatura estable ajustando el termostato de sus flores masculinas estériles —los principales productores de calor— a 37 ºC (*diagrama*). Si la temperatura de las flores cae por debajo de ese nivel, las flores aumentan su producción de calor (*ciclo de la izquierda*). Mientras la producción de calor supera la pérdida de calor, la temperatura de la flor aumenta. Cuando la temperatura de la flor pasa de 37 ºC (*ciclo de la derecha*), las enzimas necesarias para la producción de calor se vuelven progresivamente menos activas. Su inhibición conduce a una disminución de la generación de calor. La caída continúa hasta que la generación de calor se iguala con la pérdida, punto en el que la temperatura se estabiliza. La temperatura final de la flor depende de la temperatura ambiente (*gráficas*): si el aire está frío, las flores pierden calor rápidamente y su temperatura se estabiliza a cerca de 37 ºC. Si el exterior está caliente, las flores retienen calor, de manera que producen poco, y su temperatura se estabiliza más cerca de 46 ºC. *—R.S.S.*




3. LAS FLORES MASCULINAS ESTERILES DE *P. selloum* (*izquierda*) toman el oxígeno a través de unos poros llamados estomas. En la microfotografía del centro, que es un detalle del extremo de una flor, se ven varios estomas (*esferas oscuras*). La microfotografía de la derecha muestra un solo estoma.

Separamos de sus pedicelos los tres tipos de flores. Medimos sus tasas de consumo de oxígeno. Con tales resultados, calculamos la tasa de producción de calor. Las flores masculinas estériles consumían la mayor parte del oxígeno que suministrábamos; las masculinas fértiles, sólo un poquito; las femeninas y el pedúnculo no consumían apenas nada. Daba, pues, la impresión de que las flores estériles eran las responsables del control de la temperatura en la inflorescencia. Estudios posteriores confirmaron esta sospecha y mostraron que las flores no necesitan los elaborados sistemas de regulación de los animales. Tienen sus propios termostatos, su propio suministro de nutrientes y sus propios medios de adquirir oxígeno.

En los experimentos que revelaron la existencia de termostatos, quitamos flores masculinas estériles del espádice y depositamos flores sueltas en incubadoras ajustados a temperaturas preestablecidas. Por sí solas, las flores no podían calentarse entre sí y se dejaron a la temperatura ambiente. Podíamos ya determinar cuánto calor producían a temperaturas concretas.

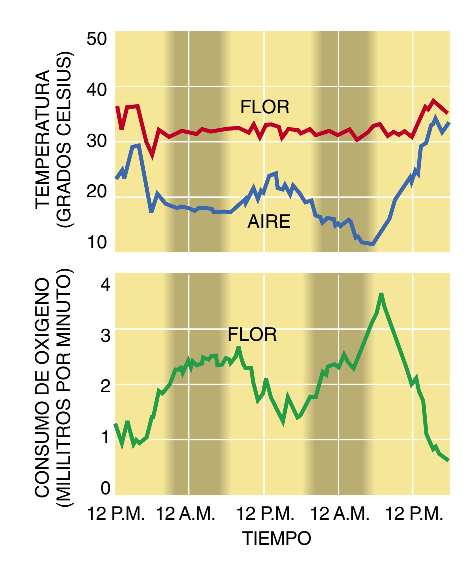
Las flores sueltas generaban poco calor cuando la temperatura estaba cerca del punto de congelación, por la probable razón de que las enzimas (catalizadores biológicos) necesarias para producir calor, como la mayoría de las enzimas de los seres vivos, no pueden operar con desenvoltura cuando están muy frías. Pero a temperaturas más altas las flores mostraron una curiosa pauta de producción de calor. (Esquema que se vuelve a observar cuando las flores están prendidas del espádice, con la única diferencia de que en el espádice intacto las flores adquieren más calor gracias al que emiten las demás.) Conforme sube la temperatura de la flor, aumenta la tasa de producción de calor, lo que lleva a un mayor calentamiento. Este incremento autorreforzado continúa hasta que la flor llega a 37 grados C. A temperaturas más altas, las flores "apagan la caldera" y su producción de calor baja en picado.

En cuánto remite esa tasa dependerá de la temperatura ambiental. Si hace frío, por ejemplo 4 grados C, las flores pierden calor rápidamente y su temperatura se estabiliza alrededor de los 38 grados (con una alta tasa de generación de calor). Este esquema es reversible. Una flor que ha bajado su producción de calor durante el día puede reanudarla cuando la temperatura cae durante la noche.

La producción de calor disminuye en las flores endotérmicas por la probable razón de que el propio calor inhibe las rutas metabólicas responsables de generarlo. Se desconoce si el calor actúa directamente sobre ciertas enzimas de las rutas metabólicas o si entorpece la actividad enzimática por cambiar la estructura de las membranas a las que se unen estas proteínas.

Una vez visto en detalle el ajuste del termostato de las flores, em-





4. TODAS LAS FASES DE LA FLORACION del loto están reunidas en la fotografía de la derecha. La regulación de la temperatura empieza en algún punto entre la formación del capullo aún cerrado (*en el centro a la derecha*) y el esponjado de los pétalos (*izquierda*), cuando los insectos entran en la flor. Termina cuando los pétalos se abren del todo (*arriba*). Después de la polinización, los pétalos caen (*extremo de la derecha*), y el receptáculo, que contiene las futuras semillas, empieza a crecer (*estructura verde cerca del límite inferior*). El receptáculo, estructura amarilla esponjosa en la sección longitudinal de una flor (*foto de la izquierda*), es también la fuente de la mayor parte del calor. El gráfico ilustra las medidas en una flor y es típico de los datos que demuestran que el loto puede controlar su propia temperatura. La flor mantuvo una temperatura casi constante (*arriba*), a pesar de las fluctuaciones de la temperatura exterior. En este caso, la flor también consigue la estabilidad acelerando el consumo de oxígeno (y por tanto la producción de calor) cuando el aire está frío y ralentizándola cuando el aire está caliente (*abajo*).

pezamos a investigar las estrategias de que se valen las flores para procurarse los nutrientes y el oxígeno que usan en su calentamiento. También nos interesaba averiguar cuánto calor producen exactamente. Aunque había calculado la producción de calor sobre la base del consumo de oxígeno en mis estudios anteriores, los resultados no estaban confirmados aún.

Resultó que toda la energía dedicada a la generación de calor en *P. selloum* estaba presente en las flores desde el principio. (No obstante, esta propiedad puede no ser igual en otras plantas termorreguladas. La col fétida importa combustible desde la raíz.) Y nos sorprendió descubrir que las flores estaban "quemando" grasa, en vez de carbohidratos, como se había visto en otras aroideas. De hecho, la aplicación de la microscopía electrónica a las flores masculinas estériles evidenció que su tejido contenía gotitas de grasa y muchas mitocondrias; en otras palabras, el tejido se parecía notablemente a la grasa parda, un tejido especializado en la producción de calor que se encuentra en mamíferos. Las células vegetales y animales usan las mitocondrias para incorporar en ATP la energía derivada de los nutrientes. Pero en la grasa parda y, aparentemente, en el inusual tejido de *P. selloum*, los nutrientes y el oxígeno se utlizaban para la producción directa de calor.

La impresionante capacidad endotérmica de *P. selloum* puede quizás apreciarse mejor si comparamos el rendimiento de la planta con el de otros vegetales y animales. Un espádice de 125 gramos produce unos 9 watt de calor para mantener una temperatura de 40 grados C en un entorno que está a 10 grados, más o menos los mismos watt producidos por un gato de tres kilos en el mismo entorno. Una rata que pesara 125 gramos produciría sólo dos watt, pero no por falta de capacidad; como está bien aislada por el pelo, cedería menos calor al ambiente y podría conservar su energía para otras funciones.

Si la calculamos en función del peso, la tasa de producción de calor en las flores de *P. selloum* se acerca a las máximas tasas de las aves e insectos voladores. Las flores, que pesan unos ocho miligramos cada una, liberan 0,16 watt por gramo de tejido; las aves y los insectos emiten de 0,2 a 0,7 watt por gramo. Por supuesto que, si las evaluamos de ese modo, las aroideas se cuentan entre los mayores productores de calor, incluso comparadas con los animales. El máximo productor de

5. LA PRODUCCION de calor (en watt por gramo) de las plantas aroideas —grupo al que pertenecen *P. selloum* y *Arum maculatum*— se acerca a los altos niveles generados por los músculos de las abejas en vuelo y por el tejido especializado en producir calor (*grasa parda*) de los hámsteres. Las plantas superan incluso la producción de calor de algunos animales de sangre caliente.

las aroideas, *Arum maculatum*, genera 0,4 watt por gramo en sus flores, una magnitud sólo un poco menor que la producción de un watt por gramo de la grasa parda del hámster siberiano y los aproximadamente 2,4 watt por gramo de los músculos de vuelo en abejas. Esta tasa del músculo de abeja es la más alta que conozco en un tejido animal.

La alta potencia de *P. selloum* planteaba la cuestión de cómo obtiene el oxígeno requerido, puesto que carece de pulmones, de sistema circulatorio y de hormonas que aceleren la respiración y la circulación. Descubrimos que las flores obtienen del aire el oxígeno por simple difusión; el aire normalmente contiene un 21 por ciento de oxígeno. Como los niveles de oxígeno dentro de la flor suelen estar por debajo de los niveles del aire, el oxígeno se mueve, a favor del gradiente, hacia el interior de las plantas. Nuestros experimentos mostraron que la difusión del oxígeno empieza a disminuir sólo cuando la concentración de oxígeno alrededor de la flor desciende por debajo del 17 por ciento, más o menos. Casi nunca se alcanza este nivel, ni siquiera cuando las flores están produciendo calor a su máxima potencia.

Mis recientes estudios anatómicos han acotado el camino por donde el oxígeno entra en las flores. Una flor tiene unos siete milímetros de longitud y 1,2 milímetros de espesor (más o menos el tamaño de un grano de arroz crudo). Increíblemente, el oxígeno penetra por sólo unos 170 poros, o estomas, y se distribuye a través de una red de huecos que ocupa menos de un uno por ciento del volumen de la flor. El camino de difusión desde la superficie de la flor hasta cada célula tiene algo menos de 0,75 mm, una distancia similar a la longitud de los tubos llenos de aire que suministran oxígeno a los músculos del vuelo en los insectos.

Nuestro trabajo con plantas endotérmicas demuestra las posibilidades de aplicar ideas y métodos desarrollados en un campo de la ciencia a otro dominio. Llevados por la curiosidad y por la lógica, mis colaboradores y yo pudimos examinar fenómenos inusuales sin las ideas preconcebidas que parecen encaminar la investigación por caminos trillados. Gracias a ese esfuerzo, hemos observado un parecido sorprendente entre animales y plantas, dos grupos de organismos de los que se suele pensar que tienen poco en común.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

SEXUAL REPRODUCTION IN THE ARUM LILY FAMILY, WITH EMPHASIS ON THERMOGENICITY. B. J. D. Meeuse y I. Raskin en *Sexual Plant Reproduction*, vol. 1, n.º 1, págs. 3-15; marzo de 1988.

ANALYSIS OF HEAT PRODUCTION IN A THERMOGENIC ARUM LILY, *PHILODENDROM SELLOUM*, BY THREE CALORIMETRIC METHODS. R. S. Seymour en *Termochimica Acta*, volumen 193, páginas 91-97; 14 de diciembre de 1991.

THERMOREGULATING LOTUS FLOWERS. R. S. Seymour y P. Schultze-Motel en *Nature*, vol. 383, página 305; 26 de septiembre de 1996.

El problema mundial de los trastornos mentales

La creciente crisis del mundo en vías de desarrollo indica la necesidad de comprender mejor los nexos entre la cultura y los trastornos mentales

Arthur Kleinman y Alex Cohen

Durante los últimos 50 años, las condiciones de vida y de salud han mejorado muchísimo en los países en vías de desarrollo. Egipto y la India, entre otros, han visto elevarse la esperanza de vida desde alrededor de los 40 hasta los 66 años. La viruela, que antes causaba millones de muertes cada año, se ha erradicado de la faz de la tierra. La mortalidad infantil ha bajado de un 28 a un 10 % de los nacidos vivos. La renta media ha pasado a ser más del doble y el porcentaje de familias rurales que disponen de agua corriente ha aumentado de menos del 10 a casi el 60 %.

Por desgracia, tan notable progreso del bienestar físico ha ido acompañado de un deterioro de la salud mental. En muchas zonas están hoy en auge la esquizofrenia, la demencia y otras formas de trastornos mentales. Por ceñirnos a la esquizofrenia —uno de los más debilitantes de estos trastornos, en el que pensamientos y emociones se mezclan o alteran con alucinaciones—, habrá, en el año 2000, unos 24,4 millones de personas de sociedades de renta baja que la padecerán, lo que supone un 45 % más que en el año 1985.

Este aumento de las enfermedades mentales se debe a múltiples factores demográficos y sociales. Con la mejora de la salud física, son cada vez más las personas que viven hasta edades en las que hay mayor riesgo de padecer ciertos trastornos psíquicos, especialmente la demencia. Por otro lado, el aumento de la población, resultado de ese intervalo mayor de vida, significa que también crece el número absoluto de personas afectadas por trastornos mentales de todo tipo. Además, el propio desarrollo económico e industrial, que ha beneficiado a algunos, ha generado también enormes cambios sociales. La rápida urbanización, la modernización caótica y la reestructuración económica han dejado desarmados a muchos de los países en vías de desarrollo. Crecientes tasas de violencia y suicidios, del abuso de alcohol y drogas, están yendo a la par con la quiebra de la prácticas culturales, de los usos sociales y de lo que tradicionalmente representaban el trabajo y la familia.

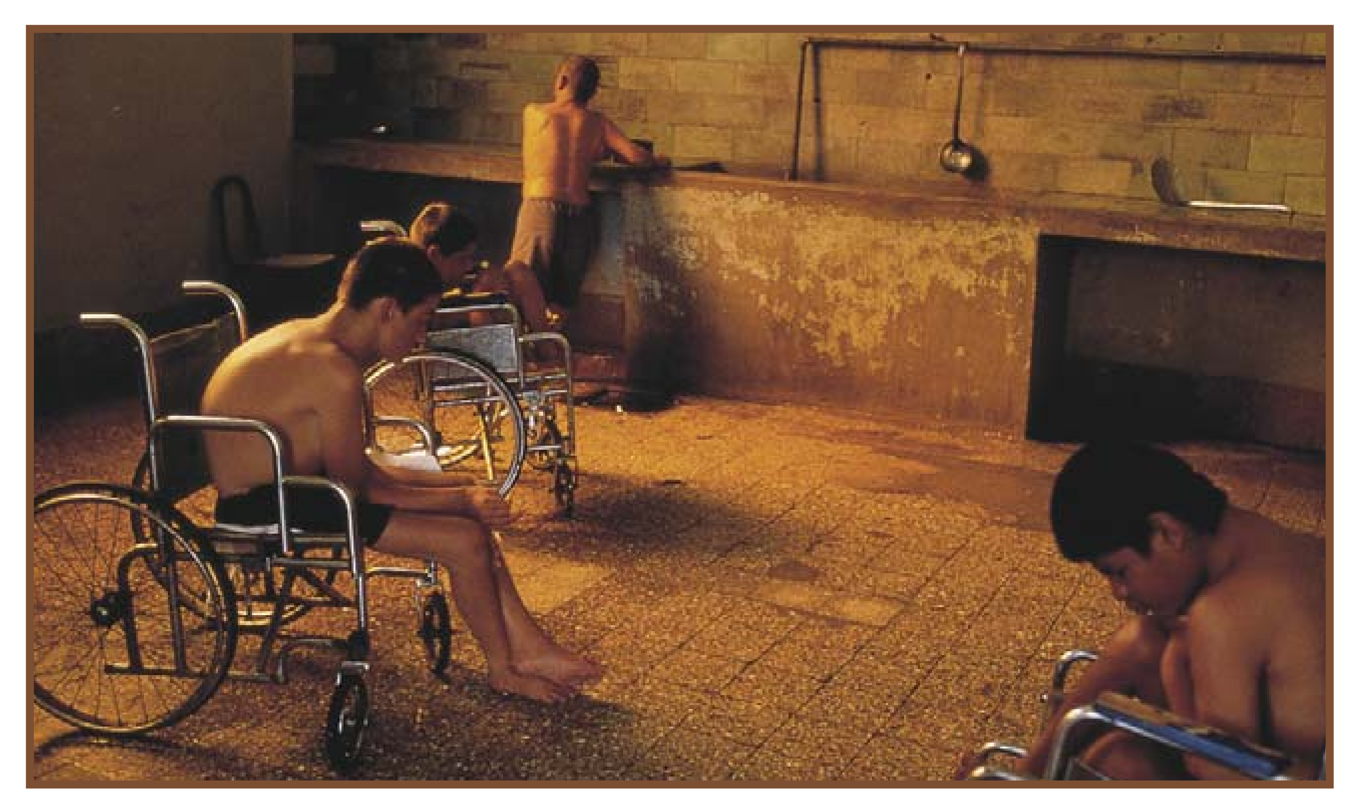
Según se ha observado en estudios de varia índole, el capítulo de las enfermedades mentales constituye el de mayor crecimiento en la carga presupuestaria de asistencia médica en las sociedades de renta baja. Los trastornos depresivos y de ansiedad son las principales causas de incapacidad en todo el globo, según la Organización Mundial de la Salud (OMS). Este organismo estima que tales enfermedades son las responsables de una cuarta parte de las visitas a los centros sanitarios. Los intentos de suicidio y la enfermedad de Alzheimer y otras demencias originan también pesadas cargas sanitarias, siguiéndoles en esto la epilepsia, las psicosis, la drogodependencia y las tensiones postraumáticas.

El estudio de la OMS descubrió también que, por término medio, los médicos de asistencia primaria se equivocan más de la mitad de las veces a la hora de diagnosticar los trastornos psíquicos. Y lo que es peor, aun en el caso de que el médico acierte en el diagnóstico de la enfermedad mental, suele fallar en la prescripción del tratamiento idóneo.

¿De qué modo está respondiendo la profesión psiquiátrica ante ese fenómeno tan preocupante? Pues parece apegada a teorías y prácticas obsoletas, que no sirven para remediar las exigencias de los países pobres y del mundo no industrializado. Hoy se tiende a descartar la unicidad de los síntomas que se descubren en una cultura particular y a buscar, por contra, manifestaciones de enfermedad mental que sean independientes de la cultura y que están, así se supone, más estrechamente vinculadas a las bases biológicas de la enfermedad. Pero, dando la espalda a la amplia diversidad de los síntomas, la psiquiatría se niega a sí misma una riquísima fuente de datos. Y esta errónea actitud parece estar bloqueando el progreso precisamente cuando más necesario es.

El progreso en la mejora de la salud mental en los países en vías de desarrollo ha de vencer la resistencia de cuatro mitos muy arraigados. Tres de ellos afectan al cogollo de la psiquiatría; el cuarto persiste entre algunos especialistas. Mito primero: las formas de enfermedad mental se dan por doquier con similares grados de frecuencia. Mito segundo, o de la excesiva adhesión a un principio conocido como la dicotomía patogenética/patoplástica: de la estructura subyacente a una enfermedad es responsable la biología, mientras que los modos concretos de experimentar una persona ese mal están configurados por las creencias culturales. Mito tercero: diversos trastornos poco comunes, específicos de algunas culturas y cuyas bases son inciertas, sólo se

ARTHUR KLEINMAN y ALEX COHEN trabajan en el departamento de medicina social de la Facultad de Medicina de Harvard, donde el primero ostenta la cátedra Maude y Lillian Presley de antropología médica y el segundo coordina el programa de salud mental en el mundo.



1. EN ESTE DESOLADOR AMBIENTE han de desenvolverse los pacientes de una institución psiquiátrica de Argentina. Hoy en todos los países en vías de desarrollo, las atenciones dejan mucho que desear.

dan en lugares exóticos. Sustentado por muchos expertos internacionales de la salud, que para empezar se desentienden de los problemas de la salud psíquica, afirma el cuarto de los mitos: apenas puede hacerse nada para curar las enfermedades mentales.

El primer mito hunde sus raíces en un prejuicio un tanto contradictorio, en la idea del "buen salvaje", que habría vivido sin las trabas y exigencias del mundo "moderno", piedra angular de la antropología en el siglo XIX. Sin embargo, desde los años cincuenta, los trabajos de la antropología psiquiátrica y de la psiquiatría cultural refutaron la noción de que los problemas de salud mental en los países subdesarrollados fuesen triviales. Alexander Leighton y sus colegas comprobaron que entre los sujetos de la tribu yoruba de Nigeria había mayores tasas de depresión que entre las gentes de un condado de Nueva Escocia. En un estudio posterior, John Orley y John Wing hallaron que mujeres que vivían en zonas rurales de Uganda tenían mayores tasas de depresión y sufrían modalidades más graves que las mujeres de los suburbios londinenses. Las investigaciones estadísticas realizadas durante los últimos 20 años entre campesinos y habitantes de las ciudades de China y de Taiwan han revelado también una muy extendida presencia de trastornos neuropsiquiátricos. En fin, multitud de estudios han evidenciado que enfermos de esquizofrenia los hay por todo el mundo.

Los profesionales terminaron por aceptar que los trastornos psiquiátricos se daban en todas partes. Mas, por desgracia, esto fue sustituir un mito por otro. Durante los años ochenta, estuvieron en boga las explicaciones biológicas de los fenómenos psiquiátricos. De acuerdo con la tesis dominante, las enfermedades mentales se hallaban distribuidas más o menos uniformemente por toda la tierra. Esta opinión persiste, pese a que los resultados de muchos estudios antropológicos y epidemiológicos van evidenciando que la incidencia y los síntomas de los trastornos varían mucho de una cultura a otra, entre clases sociales, entre sexos y a tenor también de otras variables. Se ha corroborado, por ejemplo, la existencia de una correlación entre la condición socioeconómica y la salud mental y física.

Hay documentación abundante por lo que se refiere a las diferencias entre sexos. Un estudio de la OMS que abarcó 14 países (algunos de ellos muy industrializados, otros no tanto) demostró que, en total, el número de mujeres con depresiones venía casi a doblar la cifra de los varones. En Santiago de Chile el riesgo de depresión femenina casi quintuplicaba el de los hombres. Una diferencia entre sexos bastante llamativa fue la descubierta en un estudio realizado en 1982 sobre una muestra de más de 38.000 personas en 12 regiones de China: se halló no sólo que las mujeres padecían trastornos neuróticos (primordialmente neurastenia, neurosis disociativa y neurosis depresiva) en una proporción nueve veces superior a la de los hombres, sino que la frecuencia de la esquizofrenia era hasta un 75 % mayor entre las mujeres.

Si se opina que la esquizofrenia sólo tiene bases biológicas, este último dato resulta desconcertante. Podría sugerir que el trastorno presenta un componente cultural o ambiental más fuerte de lo que en general se reconoce, o quizás invite simplemente a poner en tela de juicio la forma como se llevó a cabo el estudio (aunque el trabajo se tuvo por riguroso y no suscitó críticas adversas). Ahonda más el misterio el hecho de que entre las mujeres de Taiwán no se ha hallado ese mayor riesgo de esquizofrenia.

Las tasas de suicidio, que hemos vinculado a la depresión y al abuso de drogas, se registran con diversos grados de precisión en muchos países y se toman a veces por indicadores de la salud social. El nexo entre las tasas de suicidio y el malestar social



2. MADRE E HIJA campesinas de Hunán, afectas de neurastenia. Este trastorno neurótico, según se presenta en los chinos, tiene síntomas en común con trastornos de depresión y de ansiedad.

lo establecieron, hacia el cambio de siglo, los trabajos del sociólogo Emile Durkheim. Recientemente, dos psiquiatras taiwaneses, Mian-Yoon Chong y Tai-Ann Cheng han descubierto que en Taiwán las tasas de suicidio han variado mucho desde que acabó la segunda guerra mundial: la emigración en masa desde el continente y la rápida industrialización de lo que había sido una economía rural trajeron consigo las tasas de suicidio más elevadas; estas tasas, aunque ahora estabilizadas, son, curiosamente, más altas en las zonas rurales que en las ciudades y son también superiores entre la población aborigen de la isla, el segmento menos favorecido por el cambio social.

En China, la tasa de suicidio dobla la norteamericana. Es un fenómeno más común entre las campesinas. En otros sitios son los hombres los que están más expuestos a suicidarse. Manejando datos del Banco Mundial, Michael Phillips demostró que más del 40 % de todos los suicidios del mundo se producían en China. Pero lo sorprendente del caso es que allí las cifras de depresión son de tres a cinco veces inferiores a las tasas de Occidente; también es menor en China el abuso de drogas. Entre las mujeres deprimidas de la China rural, el suicidio casi parece ser un recurso normal para librarse de la angustia.

Se ha comprobado que las formas habituales de una determinada enfermedad mental varían mucho según el país de que se trate. E igualmente ocurre que es casi imposible compatibilizar estos datos con el actual insistir en que todas las enfermedades mentales comparten una misma base biológica. La esquizofrenia, por ejemplo, se presenta de varias formas distintas, entre ellas la paranoide, que se caracteriza por ideas de persecución, y la catatónica, cuya marca es la inmovilidad en forma de catalepsia o de estupor. Otra modalidad es la conocida como hebefrénica, entre cuyos distintivos más notorios se incluyen el embotamiento o bloqueo de las emociones y la desorganización del habla y de la conducta. Las proporciones relativas de estos tipos del trastorno varían considerablemente de una región a otra, por causas que no están del todo claras.

Norman Sartorius, Assen Jablensky y sus colaboradores de la OMS descubrieron hace poco que la esquizofrenia paranoide era alrededor de un 50 % más frecuente en los países desarrollados, en tanto que el subtipo catatónico aparecía con una frecuencia seis veces superior entre pacientes de los países en vías de desarrollo. La esquizofrenia hebefrénica cuadruplicaba en el Tercer Mundo la tasa observada en los países desarrollados. Otros investigadores han hecho notar la variabilidad existente en el propio seno de las naciones industriales; el subtipo hebefrénico, por ejemplo, habitual entre los pacientes hospitalizados japoneses, es raro hoy en los EE.UU.

¿Cómo explicar esta desconcertante variación de los síntomas de trastornos? La pregunta nos retrotrae a nuestro segundo mito. En su búsqueda de la uniformidad, psiquiatras y epidemiólogos han ideado un modelo de patogenicidad/patoplasticidad en el que se hace responsable a la biología de la causa y la estructura del trastorno mental, mientras que los factores culturales a lo sumo configuran el "contenido" del mismo; por ejemplo, en la esquizofrenia paranoide, la biología daría cuenta de los pensamientos alucinantes, mientras que las creencias culturales determinarían las varias concreciones —si el perseguidor es, en opinión del paciente, un agente de la CIA o si son espíritus del mal o seres venidos del espacio exterior.

El modelo en sí no carece de utilidad: ha permitido a los psiquiatras ordenar una extensa gama de síntomas disponiéndolos en un sistema más manejable y coherente de clases de diagnósticos. Mas, por desgracia, la moderna psiquiatría ha llevado el modelo a tales extremos, que resulta contraproducente cuando se trata de comprender los trastornos de ansiedad y, en especial, la depresión en países que no sean los industrializados de Occidente. En nuestro mundo industrializado, los síntomas de la depresión tienden a ser a la vez estados psíquicos —sentimientos de desesperación, tristeza, creer que la vida carece de sentido— y enfermedades físicas. En las consultas de medicina general, los pacientes dan la mayor importancia a los síntomas físicos, mientras que en las de psiquiatría ponen de realce las dolencias psíquicas. En las sociedades no occidentalizadas y en los grupos étnicos de orientación tradicional se tiende a conceder más importancia a los malestares del cuerpo (dolores de cabeza, fatiga, mareos y vértigos), siendo menos frecuentes los síntomas psicológicos.

La psiquiatría moderna considera el malestar corporal como mero síntoma que enmascara la enfermedad emocional "real", de origen biológico. Pero, dado que no poseemos ningún marcador biológico claro que nos permita identificar de manera definitiva una determinada enfermedad, ¿cómo podemos estar seguros de que el trastorno que aflige a un yoruba de Nigeria es el mismo que el que sufre un abogado neoyorquino o un pescador de Nueva Escocia? Y además, ¿quién es capaz de decir qué es lo que constituye realmente el sustrato de la depresión: las emociones o una mezcla de desarreglos emocionales y corporales sin causa orgánica nítida?

Dejando aparte tales cuestiones, lo que es casi cierto es que varias enfermedades, incluidos los trastornos mentales de origen orgánico, el abuso de sustancias químicas, la depresión, la manía persecutoria (desorden bipolar), diversos trastornos de ansiedad y la esquizofrenia, se dan en todo el globo. Pero (volviendo al tercer mito) otros tantos cientos de estados morbosos parecen ser formas de patología locales, propias de determinadas culturas. Un libro de consulta estándar, el *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, de la Asociación Psiquiátrica Americana, en un apéndice a su cuarta edición,



3. TRAUMATIZADOS por una guerra civil, los pacientes más violentos internados en un hospital psiquiátrico de Luanda, Angola, hubieron de ser reducidos encadenándolos a piezas de maquinaria.

reconoce esto como un hecho. Pero ese apéndice, con sus concisos resúmenes de esotéricos síndromes, no pasa de ser una miguita arrojada a psiquiatras culturales y a antropólogos.

En el referido apéndice se enlistan términos tan exóticos como *amok*, trastorno consistente en frenéticos arrebatos de violencia contra personas y objetos, y *latah*, que es la repetición de palabras y movimientos durante repentinos accesos de terror. Todas estas condiciones se presentan excluidas de Occidente. Lo que los investigadores psiquiátricos no están tan dispuestos a conceder es que la anorexia nerviosa, el trastorno de personalidad múltiple, el síndrome de fatiga crónica y, quizá, la agorafobia sean probablemente síndromes vinculados con la cultura de Occidente, incluyendo en ésta a occidentalizadas elites de Asia. Puede que tres cuartas partes de los cientos de enfermedades descritas en el manual sean, en realidad, únicas de Norteamérica o muy distintivas de allí.

El cuarto y último mito proviene de un campo ajeno a la psiquiatría. Sostiene que no puede hacerse gran cosa para curar las enfermedades mentales, aunque éstas se hallen tan extendidas y cuesten tanto. La verdad es que la medicación y la terapia se van generalizando a un ritmo acelerado, sobre todo para las enfermedades de distribución global. En muchos pacientes, la esquizofrenia puede tratarse con éxito combinando una medicación antipsicótica con asistencia psicosocial (terapia familiar y enseñanza de habilidades ocupacionales o sociales).

También, a lo largo de los últimos 20 años, los psiquiatras chinos han creado impresionantes programas de rehabilitación, notables por la atención que prestan al cuidado eficiente y humanitario de los enfermos aquejados de graves trastornos mentales. Estos programas revisten particular interés porque parecen aplicables a otras poblaciones menos atendidas. La incidencia de otras condiciones graves, tales como el retraso mental y la epilepsia, podría reducirse evitando los traumas del parto, así como las infecciones y las carencias nutricionales.

En su empeño por incluir la psiquiatría entre las ciencias "duras", los psiquiatras han limitado su enfoque a los mecanismos biológicos de los trastornos mentales, menospreciando la importancia de variables "blandas" como la cultura y la situación socioeconómica. Pero el estudio de la variación es piedra angular de la ciencia. La diversidad de los síntomas, del desarrollo y de la frecuencia de la enfermedad mental brinda una oportunidad magnífica para sopesar la influencia de la cultura y el entorno en la formación, la distribución y la manifestación de los trastornos. Hasta ahora se ha venido desaprovechando tal oportunidad. Mas, a la vista de las penalidades que globalmente impone la enfermedad mental, semejante desinterés se convierte en tragedia cuyas proporciones aumentan sin cesar.

Ni que decir tiene que el conocimiento de la relación entre la cultura y la enfermedad mental no bastará, por sí solo, para mejorar la situación. En el mundo en vías de desarrollo la política sanitaria suele tropezar con obstáculos de toda índole, entre otros la imposibilidad de generalizar programas locales, modestos, para que cubran las necesidades de más gente. Añádase que los países de renta baja, con pobreza extrema y limitados recursos, se ven forzados a tratar de controlar el paludismo y la diarrea, antes de pensar en invertir en una "lujosa" política de atención a la salud mental. Y aunque esto es comprensible, no es aceptable. Sólo por lo que concierne a la depresión, el coste que supone no descubrirla y tratar a los pacientes en centros de asistencia primaria es enorme: la depresión origina más incapacidades que la artritis, la diabetes, la hipertensión y los dolores de espalda.

La psiquiatría debe abordar sin dilación el mito que quizá sea el más perjudicial de todos: el de que una base de conocimientos compilada casi exclusivamente a partir de casos norteamericanos y europeos puede aplicarse con eficacia al 80 % de la población mundial que vive en Asia, en Africa y en Sudamérica, así como a las comunidades de emigrantes de Norteamérica y de Europa. La necesidad de establecer la variación cultural como un pilar de los estudios acerca de la salud mental nos la impone la realidad empírica de que el trastorno psíquico, la enfermedad y su tratamiento —por muy biológicas que sean sus raíces— se experimentan en contextos de procesos culturales y sociales distintos, que hacen diferentes sus síntomas y evolución.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

MENTAL ILLNESS IN GENERAL HEALTH CARE: AN INTERNATIONAL STUDY. Dirigido por T. B. Üstün y N. Sartorius. John Wiley & Sons, 1995.

WORLD HEALTH REPORT 1995: BRIDGING THE GAPS. World Health Organization, 1995.

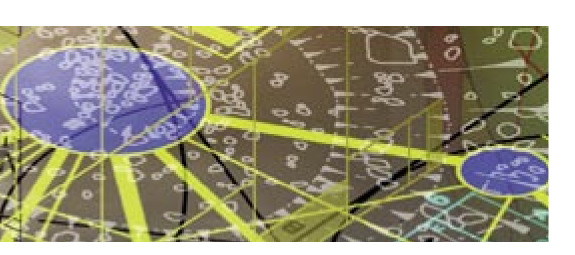
WORLD MENTAL HEALTH: PROBLEMS AND PRIORITIES IN LOW-INCOME COUNTRIES. Robert Des Jarlais, Leon Eisenberg, Byron Good y Arthur Kleinman. Oxford University Press, 1995.

PRESENTE Y FUTURO DE INTERNET

LA EXPLORACION DE INTERNET

La combinación de los saberes y destrezas de bibliotecarios e informáticos puede contribuir a organizar la anarquía imperante en la red

Clifford Lynch



No es raro oír que Internet constituye la biblioteca del mundo para la era digital. Semejante afirmación no resiste ni el examen más somero. A diferencia de las bibliotecas al uso, Internet, y en especial esa colección de recursos multimedios conocida por World Wide Web —la red, o telaraña—, no se ideó para atender la publicación y recuperación organizada de información. Ha evolucionado hacia lo que podríamos considerar un caótico almacén donde albergar la producción colectiva de las "imprentas digitales" del mundo. Este inmenso depósito de la información no sólo contiene libros y artículos, sino también datos científicos "en rama", minutas de restaurantes, actas de reuniones, anuncios, registros sonoros y videográficos y transcripciones de conversaciones. Lo efímero se mezcla por doquier con obras de importancia perdurable.

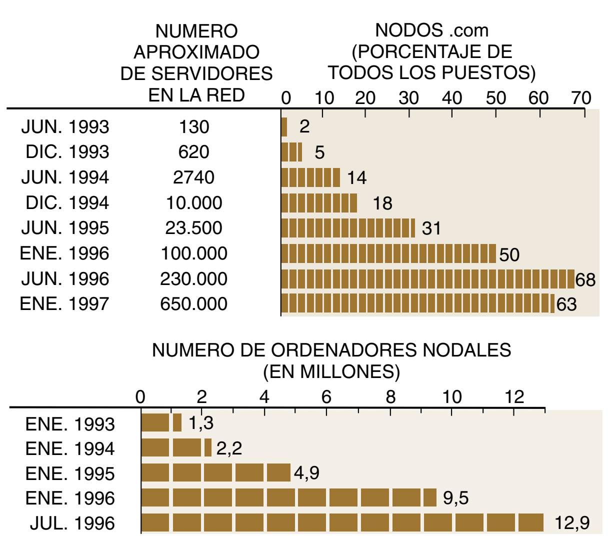
En pocas palabras: la red no es una biblioteca digital. Para que este nuevo medio de comunicación pueda seguir creciendo y prosperando, hará falta algún sistema de tipo muy similar al de los servicios de biblioteca tradicionales, con el fin de organizar, acceder y conservar la información introducida en ella. Aun así no se parecerá a una biblioteca tradicional, porque sus contenidos están mucho más dispersos que una colección normal. Por ello, la capacidad y destreza de los bibliotecarios para la clasificación y selección se han de complementar con la pericia de los informáticos para automatizar las tareas de indización y almacenamiento de información. Sólo una síntesis de las distintas perspectivas aportadas por cada una de estas profesiones permitirá que este nuevo medio continúe siendo viable.

Por el momento, es la técnica informática la que asume casi toda la

1. UN BUSCADOR va visitando los "puestos" o "sedes" de la red, aquí representados mediante esferas azules. Las líneas amarillas y las azules representan, respectivamente, la salida y el retorno al servidor donde reside el buscador (*torre roja, en el centro*), al cual se transfieren las páginas de la red. Una vez en el servidor, los programas indizadores compilan un índice (*página color canela*), al que los usuarios pueden acceder.

responsabilidad de la organización de la información en la red. En teoría, los programas que clasifican e indizan automáticamente las colecciones de datos digitales pueden habérselas con el diluvio de información que hay en ella, y con la incapacidad de los catalogadores y bibliógrafos para afrontarla. La automatización del acceso a la información tiene la ventaja de aprovechar directamente el rápido descenso de los precios de los ordenadores y de evitar el elevado coste y los retrasos inherentes a la indización realizada por personas.

Pero como bien saben quienes hayan buscado información en la red, estos instrumentos de búsqueda automatizada organizan por categorías la información de distinto modo que las personas. En cierto sentido, la tarea ejecutada por los instrumentos de indización y catalogación conocidos por "motores de búsqueda" o "buscadores" es sumamente democrática. Los métodos computarizados proporcionan acceso igual e uniforme a toda la información de la red. En la práctica, este igualitarismo electrónico puede ser tanto una bendición como una cruz. El "cibernauta" que teclea una petición de búsqueda suele quedar abrumado por millares de respuestas. Los resultados suelen contener referencias a puntos de la red completamente irrelevantes, y dejar de lado, en cambio, otros que sí contienen material importante.



2. EL CRECIMIENTO y el cambio en Internet quedan reflejados en el abrumador número de "puestos" de la red, de ordenadores nodales ("hosts") y de "establecimientos" comerciales (".com")

Merodeando por la red

Podemos comprender la naturaleza de la indización electrónica examinando lo que hacen sistemas como Lycos o AltaVista y cómo proceden para hallar la información solicitada por el usuario. Envían periódicamente ciertos programas ("arácnidos", "merodeadores" o robots indizadores) a cada uno de los "puestos" (*sites*) de la red que logran identificar. Un puesto (frecuentemente llamado "sitio" o "sede") consiste en un conjunto de documentos, las páginas, accesibles a través de la red. Los indizadores transfieren (o como se dice en la jerga, "bajan") a su propia sede estas páginas y las inspeccionan, extrayendo de ellas informaciones aptas para describirlas. Este proceso —cuyos detalles dependen del buscador— puede ir desde la mera localización de las palabras más frecuentes en las páginas, hasta complejos análisis tendentes a la identificación de palabras y frases clave. Los resultados quedan almacenados en la base de datos del buscador, juntamente con una dirección, denominada URL ("uniform resource locator", localizador uniforme de recursos), que representa el punto de la red donde reside el archivo. El usuario pone en marcha un "navegador", como el conocido Netscape, para formular peticiones a la base de datos del buscador. La petición produce una lista de recursos de la red, a saber, las direcciones de URL donde se puede "pinchar" para establecer la conexión con los puestos identificados en la búsqueda.

Los autómatas buscadores que hoy existen atienden a diario millones de peticiones. Empero, está claro que distan de resultar ideales para la recuperación de informaciones en el cuerpo, siempre creciente, de la red. A diferencia de los catalogadores humanos, los autómatas encuentran dificultad para identificar los rasgos esenciales de los documentos, como el tema general o el género, para saber si es un poema o una tragedia, o siquiera para distinguir si se trata de un mero anuncio.

La red, además, carece todavía de estándares que simplifiquen la indización automática. En consecuencia, los documentos contenidos en ella no se hallan estructurados de modo que un programa pueda extraer fiablemente de ellos el tipo de información rutinaria que una persona encontraría en un examen superficial: autor, fecha de publicación, extensión del texto y tema. (Estas informaciones se denominan metadatos.) Un robot indizador podría traernos ese artículo de José García en que estamos interesados, pero también millares de otros artículos en cuyo texto o referencia bibliográfica se mencione un nombre tan frecuente.

No pocas veces, quienes publican en la red abusan del carácter no discriminatorio de la indización automática. Los puestos pueden sesgar el proceso de selección para atraer la atención hacia sí, repitiendo en un documento palabras como "sexo", que se saben solicitadas con frecuencia. La razón: el buscador presentará primero los URL de los documentos que mencionen con mayor frecuencia el término buscado, en tanto que las personas evitan trampas tan burdas.

El catalogador profesional sabe describir los componentes de toda suerte de páginas concretas (desde texto hasta vídeo) y aclarar cómo encajan estas piezas en una base de datos. Las fotografías de la Guerra de Secesión, por ejemplo, podrían quedar integradas en una colección que también diera cabida a música de la época y a los diarios de los soldados. Un catalogador humano puede describir las reglas a que se atiene un nodo para la recopilación y retención de programas en, sea por caso, un archivo que almacene programación para Macintosh. El análisis de los fines, la historia y la política de un puesto supera la capacidad de un indizador automático.

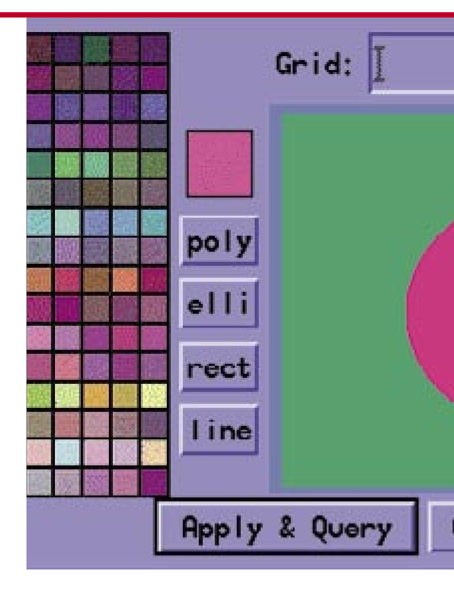
Otro de los inconvenientes de la indización automática consiste en que casi todos los buscadores reconocen solamente texto puro. El gran interés que despierta la red se debe, empero, a su capacidad para mostrar imágenes, sean gráficos estáticos o secuencias de vídeo. Se han emprendido ciertas investigaciones tendentes a localizar

colores o pautas en las imágenes. Pero ningún programa puede deducir el significado implícito y la importancia cultural de una imagen (por ejemplo, que un grupo de hombres cenando representa la Ultima Cena).

Al mismo tiempo, está cambiando la forma de estructurar la información en la red, lo que impide que sea examinada por los indizadores automáticos. Muchas de sus páginas han dejado de ser archivos estáticos susceptibles de análisis y catalogación por tales programas; en numerosos casos, la información exhibida en un documento se organiza por el puesto consultado durante la búsqueda consiguiente a petición del usuario. El ordenador puede así ensamblar un mapa, una tabla y un documento de texto tomados de diferentes sectores de su base de datos, una colección de informaciones dispares que se adecuan a las peticiones recibidas. Un puesto de periódicos de la red, por ejemplo, podría permitir al lector que aparecieran solamente las noticias sobre la industria petroquímica, confeccionando una versión del periódico "a la medida" del usuario. La base de datos de noticias y artículos a partir de la cual se ensambla este periódico no podría ser explorada por un autómata que la visitase.

Cada vez se investiga más en los problemas que entraña la clasificación automática. Uno de los métodos de la misma trata de adjuntar metadatos a los archivos, con el fin de que los sistemas de indización puedan recopilar dicha información. El sistema más avanzado es el pro-

Búsqueda de figuras



Internet alcanzó la mayoría de edad con el advenimiento de la World Wide Web, "la red" y su deslumbrante desfile de fotografías, animaciones, gráficos, sonido y vídeo, cuyos temas van desde las bellas artes hasta lo manifiestamente obsceno. Mas, pese a todo el bombardeo de los multimedios, para hallar cosas en los cientos de miles de "puestos" de la red sigue siendo necesario buscar palabras y números en los índices.

Si escribimos las palabras "Bandera francesa" en un buscador tan popular como AltaVista, es posible que recuperemos el gráfico, pero sólo será así en el caso de que se encuentre rotulado con estas dos palabras identificadoras. Ahora bien, ¿qué ocurriría si estuviéramos viendo una enseña azul, blanca y roja pero no supiéramos a qué país pertenece?

Lo ideal sería que un buscador permitiese al usuario dibujar o rastrear un rectángulo con tres franjas verticales coloreadas de azul, blanco y rojo, y buscase después cualesquiera imágenes concordantes de las almacenadas en la miríada de puestos de la red. A lo largo de estos últimos años, ciertas técnicas, que combinan indización de palabras clave con análisis de imágenes, han empezado a pavimentar la senda para los primeros buscadores de imágenes.

Aunque estos prototipos sugieren posibilidades para la indización de información visual, también ponen de manifiesto lo burdo del instrumental existente y la dependencia del texto para la localización de imágenes. Uno de los proyectos, llamado WebSEEk, con sede en la Universidad de Columbia, ilustra el funcionamiento de un buscador de imágenes. WebSEEk empieza copiando los archivos que descubre al recorrer la red, como si ésta fuera un supermercado. Intenta después localizar nombres de archivos que contengan acrónimos como GIF o MPEG, que designan gráficos o piezas de vídeo. Busca también palabras en los nombres que pudieran identificar el tema de los documentos. Cuando el programa encuentra una imagen, analiza la prevalencia de los distintos colores y dónde se encuentran situados. Con esta información puede distinguir entre fotografías, gráficos e imágenes en blanco y negro o en gris. El programa también comprime cada figura con el fin de reproducirla mediante un icono, una imagen en miniatura que se muestra juntamente con los demás iconos. En el caso de un vídeo, extraería fotogramas clave tomados de distintas escenas.

El usuario inicia la búsqueda seleccionando una categoría de un menú: "gatos", por ejemplo. WebSEEk proporciona una muestra de iconos correspondientes a la categoría "gatos". Para restringir la búsqueda, el usuario puede seleccionar los iconos que muestren gatos negros. El buscador, valiéndose de un análisis de color que previamente ha generado, busca imágenes que tengan un perfil cromático similar. La presentación del siguiente conjunto de iconos puede mostrar gatos negros, pero también gatos de color claro sentados en cojines negros. El visitante de WebSEEk puede refinar la búsqueda añadiendo o excluyendo de la imagen ciertos colores al iniciar las indagaciones siguientes. Al excluir los colores amarillo y anarajado quedarán eliminados todos los gatos de pelo color canela. O más sencillamente, al serle presentada una serie de iconos, el usuario puede especificar también las imágenes que no contengan gatos, con el fin de ayudar al programa a alejarse de las elecciones erróneas. Hasta el momento, WebSEEk ha almacenado y catalogado más de 650.000 imágenes tomadas de decenas de millares de nodos de la red.

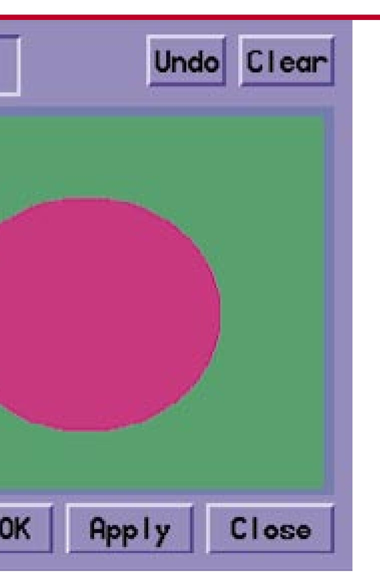
Entre otros proyectos de búsqueda de imágenes se cuentan los de la Universidad de Chicago, los de la de California en San Diego, los de la Carnegie Mellon, los del Laboratorio de Medios del Instituto de Tecnología de Massachusetts y los de la Universidad de California en Berkeley. Varias empresas comerciales, entre ellas IBM y Virage, han puesto a punto programas utilizables para explorar las redes y las bases de datos de la propia compañía. Excalibur Technologies e Interpix Software han colaborado para suministrar programación a Yahoo e Infoseek, dos empresas de indizado con sede en la red.

Uno de los buscadores de imágenes más antiguos, el QBIC ("Query by Image Content", búsqueda por contenido de imagen) de IBM, consigue una coincidencia de rasgos de

grama Dublin Core Metadata junto con otra iniciativa conexa, Warwick Framework; el primero recibe su nombre de un taller de Dublin (en Ohio); la segunda, de un coloquio, en Warwick (Inglaterra). En estas reuniones se definió un sistema de metadatos elementales más sencillos que los habituales en la catalogación bibliográfica tradicional y se crearon métodos para incorporarlos a las páginas de la red.

La clasificación de metadatos por categorías podría ir desde el título o el autor hasta el tipo de documento (texto o vídeo, por ejemplo). Los metadatos podrían ser deducidos tanto por personas como por sistemas de indización automática, pudiendo ser después adjuntados a una página de la red para su recuperación por autómatas. Una serie de anotaciones precisas y detalladas realizadas por personas podría proporcionar una caracterización más profunda de lo que pudiera conseguir por sí solo un programa de indización automática.

En los casos en que el costo está justificado, los indizadores humanos han emprendido la laboriosa tarea de la compilación bibliográfica de ciertos nodos de la red. La base de datos Yahoo, que es una empresa comercial, clasifica los puestos por grandes bloques temáticos. Y cierto proyecto de investigación acometido en la Universidad de Michigan constituye uno de los diversos esfuerzos por desarrollar descripciones más formales de los nodos que contienen material de interés académico.



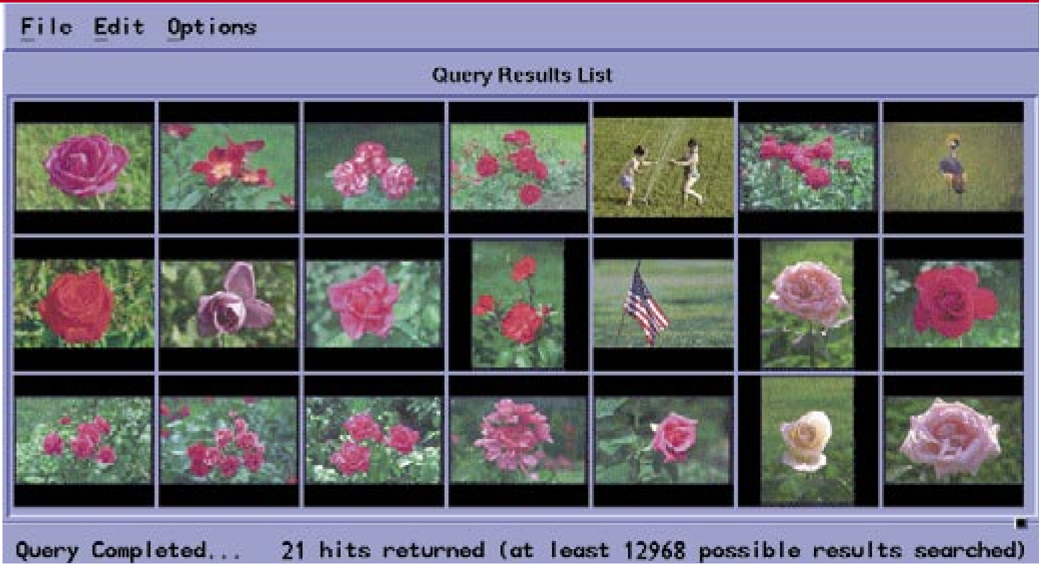


imagen más refinada de lo que WebSEEk, pongamos por caso, puede lograr. No sólo es capaz de seleccionar los colores de una imagen, sino también de calibrar su textura atendiendo a diversos parámetros, como el contraste (la oposición de blanco y negro en las listas de las cebras), la finura (las piedras comparadas con las gravillas) y la dirección (los postes lineales verticales de una valla frente a los pétalos de las flores, omnidireccionales). QBIC tiene también cierta capacidad para buscar formas dentro de una imagen. Al especificar un disco rosado sobre fondo verde ofrece flores y otras fotografías que contienen formas y colores similares. Sus posibles aplicaciones van desde la selección de motivos para empapelar hasta facilitar a la policía la identificación de miembros de bandas por su indumentaria.

Ninguno de estos programas hace mucho más que cotejar unas estructuras visuales con otras. Siguen necesitando que un observador humano —o un texto adjunto— confirme si se trata de un gato o de un cojín. Desde hace más de diez años, los que se ocupan de inteligencia artificial han trabajado, con dispar éxito, para lograr que los ordenadores reconozcan directamente la identidad de los objetos de una imagen, sean éstos gatos o banderas nacionales. Este método pone en relación las formas de una figura con modelos geométricos del mundo real. El programa podría deducir entonces que un cilindro sonrosado o marrón es, por ejemplo, el brazo de una persona.

Tenemos un ejemplo en un programa “buscadesnudos”, obra de David A. Forsyth, de Berkeley, y de Margaret M. Fleck, de la Universidad de Iowa. El programa empieza analizando el color y la textura de una fotografía. Cuando encuentra coincidencias con el color de la piel ejecuta un algoritmo que busca regiones cilíndricas que pudieran corresponder a brazos o piernas. Busca después otros cilindros del color de la piel, situados en ciertos ángulos, que podrían confirmar la presencia de extremidades. En una prueba realizada el otoño pasado, el programa seleccionó el 43 por ciento de las 565 personas desnudas que aparecían en un grupo de 4854 imágenes, un porcentaje elevado para un análisis complejo de imágenes de este tipo. Además, erró en un 4 por ciento de las 4289 imágenes que no contenían desnudos. Las fotos de desnudos se tomaron de la red; las restantes procedían de bases de datos comerciales.

Es muy probable que los problemas que la visión computarizada plantea perduren más o menos durante los diez años próximos. Los programas buscadores capaces de distinguir claramente entre desnudos, mermeladas de naranja y banderas nacionales siguen siendo todavía un sueño irrealizable. Con el tiempo, sin embargo, a los investigadores les gustaría dotar a los programas que recogen información de Internet de la capacidad de comprender lo que ven.

GARY STIX

No sólo una biblioteca

En qué medida hará falta la capacidad de clasificación de los seres humanos o hasta qué punto bastará con las estrategias de indización y búsqueda automáticas va a depender de quiénes sean los usuarios de Internet y de qué perspectivas vean, desde un planteamiento empresarial, quienes van a publicar en ella. Para muchas comunidades académicas, el modelo de colección organizada —una biblioteca digital— sigue siendo idóneo. Para otros grupos, puede que un medio democrático e incontrolado constituya un mejor vehículo para la diseminación de información. Ciertos usuarios, que van desde los analistas financieros hasta los espías, quieren acceso completo a bases de datos de información en rama, sin control ni reelaboración alguna. A éstos, son los buscadores normales los que les reportan auténticos beneficios, porque ni filtran ni seleccionan los datos.

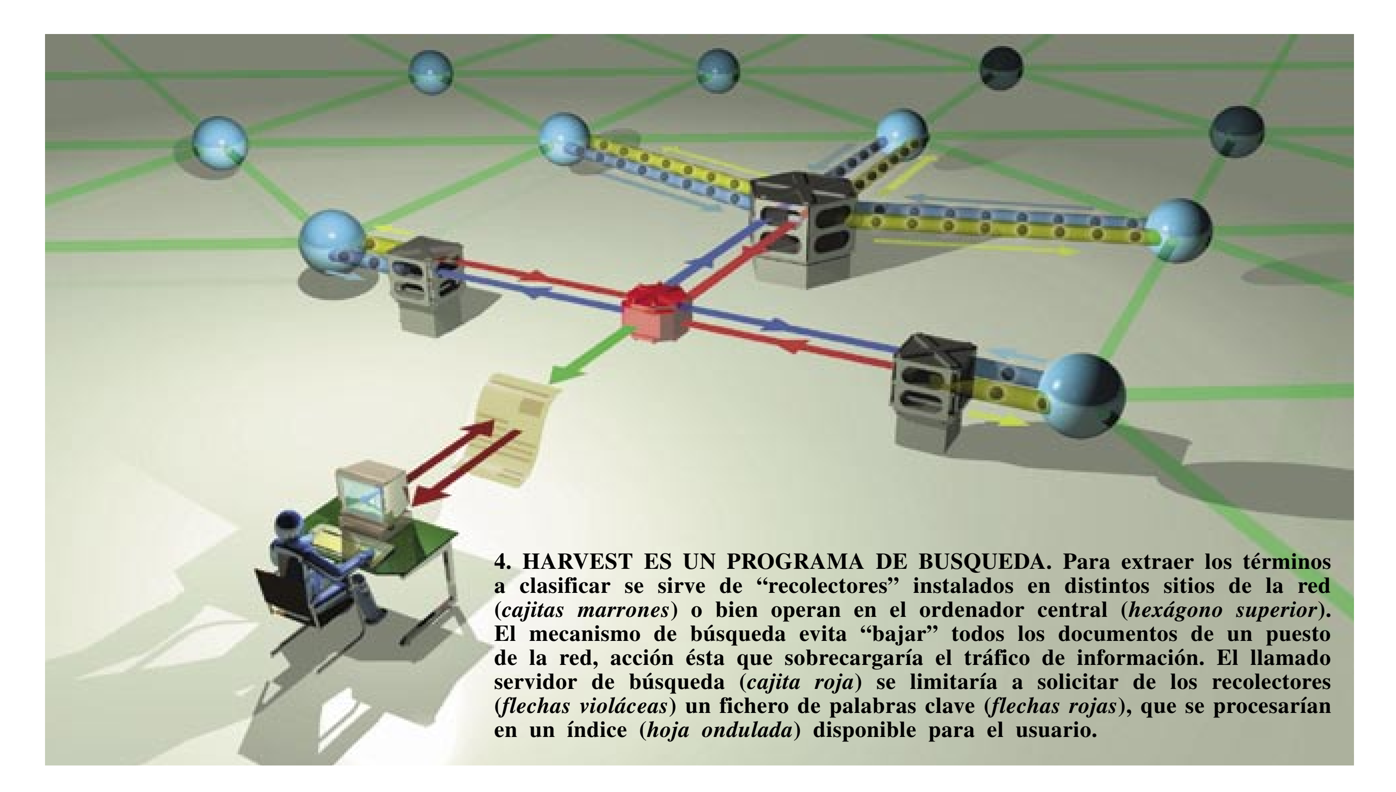
La diversidad de materiales de la red desborda con mucho los límites de la biblioteca tradicional. Una biblioteca no entra en valoraciones de la calidad de las obras de una colección. Pero a causa del enorme volumen de la información puesta en la red, los usuarios de Internet necesitan orientación sobre dónde han de invertir el limitado tiempo de que disponen para la investigación de un tema. Es posible que necesiten conocer los "mejores" documentos para un determinado propósito. Y quieren esta información sin tener que afrontar los costos de emplear personas que critiquen la miríada de puestos de la red. Una solución que nuevamente requiere la participación humana consiste en que los usuarios hagan saber lo que, a su juicio, merece la pena. Ciertos sistemas de evaluación integrados en los programas han empezado a permitirnos calibrar la calidad de determinados nodos de la Telaraña.

Son programas informáticos los que exploran Internet y separan lo bueno de lo malo. Sin embargo, seguramente harán falta nuevos programas que alivien la tarea de alimentar los autómatas indizadores que repetidamente exploran los puestos de la red. Algunos gestores de nodos han hecho saber que sus ordenadores están consumiendo tiempos enormes en proporcionar información a los autómatas indizadores, en lugar de atender a las personas a quienes desean atraer con sus ofertas.

Para hacer frente a esta cuestión, en la Universidad de Colorado en Boulder, el grupo encabezado por Mike Schwartz ha desarrollado un sistema, llamado Harvest ("Cosecha"), que permite que los puestos de la red compilen datos de indización de las páginas que contienen y que expidan, bajo demanda, la información



3. LA INDIZACION AUTOMATICA, que utilizan los programas indizadores de la red, analiza una página (*panel izquierdo*) designando como términos indizadores la mayoría de las palabras (*en el centro, arriba*) o agrupando palabras en frases sencillas (*centro, abajo*). La catalogación realizada por personas (*derecha*) facilita un contexto más amplio sobre el tema de una página.



4. HARVEST ES UN PROGRAMA DE BUSQUEDA. Para extraer los términos a clasificar se sirve de "recolectores" instalados en distintos sitios de la red (*cajitas marrones*) o bien operan en el ordenador central (*hexágono superior*). El mecanismo de búsqueda evita "bajar" todos los documentos de un puesto de la red, acción ésta que sobrecargaría el tráfico de información. El llamado servidor de búsqueda (*cajita roja*) se limitaría a solicitar de los recolectores (*flechas violáceas*) un fichero de palabras clave (*flechas rojas*), que se procesarían en un índice (*hoja ondulada*) disponible para el usuario.

a los nodos correspondientes a los diversos buscadores. Procediendo de este modo, el programa de indización automática de Harvest, al que llaman "recolector", puede evitar que el "arácnido" de la red tenga que exportar el contenido completo de un puesto dado a través de ésta.

Los programas merodeadores traen consigo una copia de cada página a las sedes donde residen, al objeto de extraer los términos que componen un índice, proceso que consume mucha capacidad de la red (ancho de banda). El recolector, en cambio, envía solamente un archivo de términos de indización. Además, se limita a exportar información relativa a las páginas que han sufrido modificaciones desde la última vez en que las visitó, aliviando así la carga en la red y en los ordenadores "prendidos" en ella.

Los programas recolectores podrían cumplir también una función diferente: proporcionar a quienes publican en la red un marco para restringir la información exportada desde sus sedes. Este grado de control es necesario porque la red ha comenzado a evolucionar, dejando de ser un medio de distribución de información gratuita. Por el contrario, cada vez es más frecuente que conceda acceso a informaciones de titularidad particular, que se suministran previo pago. Este material puede no estar abierto a los arácnidos de la red. Los recolectores, empero, podrían distribuir tan sólo la información que los distribuidores deseen facilitar, como enlaces a sumarios o a muestras de la información almacenada en un puesto.

Conforme vaya madurando la red, la decisión de optar por un determinado método de recopilación dependerá sobre todo de los usuarios. ¿Quienes sabrán ver en ella una biblioteca, con un método estructurado de construir colecciones? ¿A quiénes les seguirá resultando anárquica, con acceso suministrado por sistemas automatizados?

Los usuarios dispuestos a pagar una cuota por el trabajo de autores, editoriales, catalogadores y recensores pueden mantener la tradición de la biblioteca. En los casos en que la información sea suministrada sin cargo, o sea patrocinada por anunciantes, es probable que predomine la indización de bajo costo, mediante ordenadores: el mismo ambiente sin estructura tan característico de la Internet contemporánea. Serán, pues, los aspectos sociales y económicos, más que los técnicos, los de mayor peso al conformar el futuro de la recuperación de información en Internet.

CLIFFORD LYNCH es director de automatización de la biblioteca de la Universidad de California, donde supervisa el sistema MELVYL, uno de los mayores sistemas de información de acceso público. Doctor en informática por la Universidad de California en Berkeley, enseña en la Escuela de Gestión de Sistemas de Berkeley. Ha sido presidente de la Sociedad Norteamericana de Informática. Lidera el grupo de arquitectura y normalización de Network Information.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE HARVEST INFORMATION DISCOVERY AND ACCESS SYSTEM. C. M. Bowman et al., en *Computer Networks and ISDN Systems*, vol. 28, n.º 1-2, págs. 119-125; diciembre de 1995.

The Harvest Information Discovery and Access System está disponible en WWW en http://harvest.transarc.com.

THE WARWICK METADATA WORKSHOP: A FRAMEWORK FOR THE DEPLOYMENT OF RESOURCE DESCRIPTION. Lorcan Dempsey y Stuart L. Weibel en *D-lib Magazine*, julio-agosto de 1996. Disponible en WWW en http://www.dlib.org/dlib/july1996/07 contents.html

THE WARWICK FRAMEWORK: A CONTAINER ARCHITECTURE FOR DIVERSE SETS OF METADATA. Carl Lazoge, *ibid.*



SISTEMAS PARA CONSULTAR LA RED

El rápido crecimiento de la red está desbordando la ímproba tarea de consultarla y organizarla. Puede que el futuro proporcione métodos más satisfactorios

Marti A. Hearst

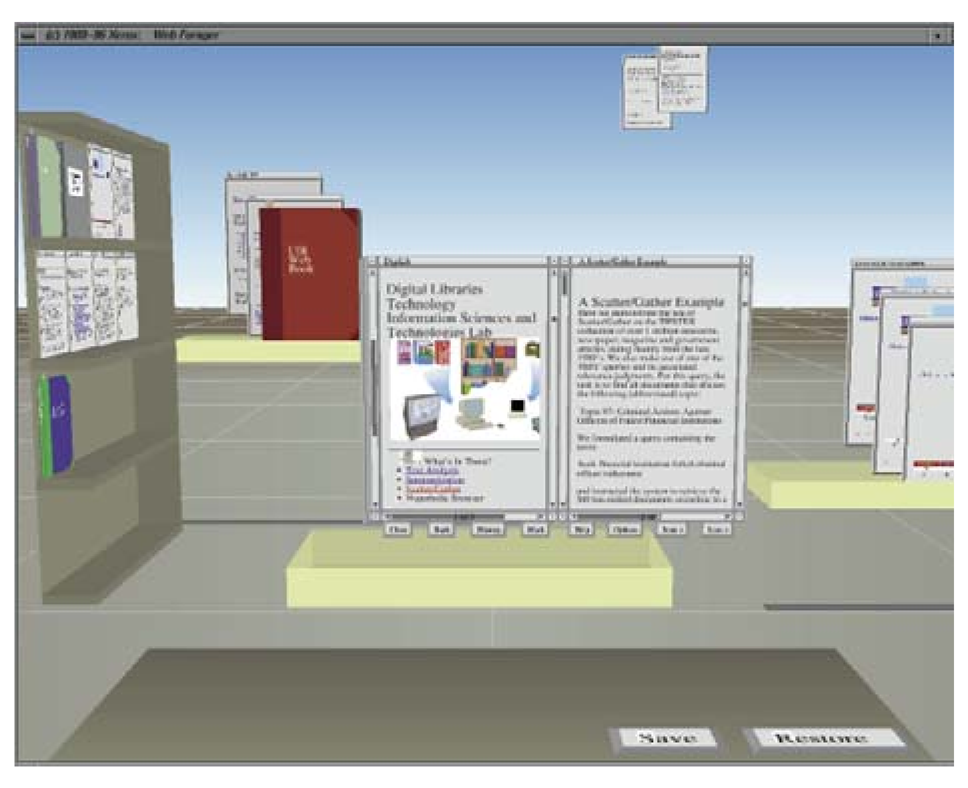
¿Cómo se las arregla uno para encontrar algo entre los millones de páginas interconectadas en las marañas inextricables del *World Wide Web*, la red? Obtener información muy difundida y estrictamente definida, tal como los números de teléfono o el valor de las acciones bursátiles, no resulta difícil; muchos puestos de la telaraña mundial, así se la llama también, ofrecen ese servicio. Lo que resulta tan excitante de Internet es su capacidad de traspasar las fronteras geográficas, recabar información sobre temas variopintos y registrarla directamente en el ordenador. Pero, al carecer de una organización consistente, el ciberespacio se está volviendo cada vez más embrollado. Usar las herramientas disponibles en este momento para buscar en la red y localizar el documento preciso en Estados Unidos, el catálogo adecuado



1. EL PATRON DE LA PAGINA empleado en la mayoría de los puestos de la red impone restricciones innecesarias a los servicios que, como Yahoo, se proponen organizar los contenidos de la red en una jerarquía de categorías. Si, por poner un caso, el usuario desea averiguar qué clase de bulbos comestibles (como los ajos) pueden plantarse en otoño, debe escoger las secciones de una en una. Cuanto más se avanza en la jerarquía, más difícil puede resultar acordarse de qué secciones interesantes quedaron por examinar.

en Inglaterra o la imagen cabal en Japón acaba por resultar lento y frustrante.

Puede que unos algoritmos más refinados para clasificar los resultados de la búsqueda según su interés o pertenencia alivien el problema, pero es más verosímil que la respuesta se encuentre en las nuevas interfaces de usuario. Hay programas concebidos para analizar textos y manipular grandes jerarquías de datos que ofrecen una mejor panorámica cuando se trata de echar un vistazo a los contenidos de la red o a otras colecciones extensas de textos. Es cierto que la metáfora de la página que se emplea en la mayoría de los puestos de la red es familiar y sencilla. Desde el punto de vista del diseño de la interfaz de usuario, sin embargo, la página es innecesariamente limitante. En el futuro la veremos suplantada por soluciones alternativas más capaces que permitan a los usuarios consultar la información desde varias perspectivas simultáneas.



2. LOS LIBROS VIRTUALES contienen páginas de la red o enlaces a otros puestos de la red obtenidos gracias a un programa de búsquedas. Los libros guardan los resultados y se pueden colocar en una estantería para volverlos a consultar más tarde. También pueden servir para guiar al usuario a la hora de realizar una nueva consulta.

Imaginemos que, en un pueblo de la sierra, tía Alicia se conecta a Internet para averiguar qué tipos de bulbos comestibles, como puedan ser los ajos y cebollas, puede plantar en su huerto durante el otoño. En algún lugar del vasto universo de la red se halla la respuesta a su cuestión. Pero, ¿cómo encontrarla?

Alicia dispone en este momento de varias opciones, ninguna de ellas particularmente halagüeña. Puede pedir a sus amigas que le recomienden alguna dirección. O puede acudir a los índices de la red, que actualmente son de dos tipos: índices de materias hechos a mano que recogen los contenidos de los puestos por categorías, y dispositivos de búsqueda, que pueden examinar rápidamente un índice de páginas para dar con ciertas palabras clave.

Yahoo, que es el índice de materias más conocido, se elabora gracias al trabajo de docenas de empleados que asignan diariamente etiquetas de clasificación a cientos de páginas de la red. Para usar Yahoo, se escoge de un menú la categoría que a uno le parece más prometedora, y se pasa entonces a un submenú más especializado o bien a una lista de puestos que los técnicos de Yahoo consideraron que encajaban en esa sección. Sin embargo, la interfaz puede resultar incómoda. Las secciones no se excluyen mutuamente: ¿qué debe escoger Alicia, "Diversiones", "Regional" o "Medio Ambiente"? Escoja lo que escoja, el menú previo desaparece de su vista, obligándola a llevar la cuenta mentalmente de todas las alternativas que podría haber elegido, o a desandar metódicamente el camino para volver a explorar cada menú. Si Alicia no acierta con la subsección apropiada (si no es "Medio Ambiente"), debe volver sobre sus pasos e intentarlo de nuevo. Caso de que la información buscada se encuentre en el extremo de la jerarquía, o de que sencillamente no esté disponible, el proceso puede llevar mucho tiempo y acabar por resultar exasperante.

La investigación de los últimos diez años en el campo de la representación visual de la información ha dado lugar a varias técnicas útiles para transformar conjuntos de datos abstractos, tales como el índice de materias de Yahoo, en presentaciones gráficas que pueden explorarse de forma más intuitiva. Un enfoque consiste en trasladar la carga mental que para el usuario suponen los procesos intelectuales reflexivos y lentos, como la lectura, a procesos perceptivos más rápidos, como la identificación de estructuras. Es más fácil, por ejemplo, comparar las barras de un gráfico que los números de una lista. El color sirve de gran ayuda para entresacar rápidamente una palabra particular o un objeto de entre muchos otros.

Otra táctica consiste en explotar la ilusión de profundidad que se puede obtener en la pantalla del ordenador si se abandona el patrón de la página. Cuando se animan las presentaciones tridimensionales, las indicaciones perceptivas que ofrecen la perspectiva, la oclusión y el sombreado pueden ayudar a esclarecer la relación entre grandes grupos de objetos que de otra manera se amontonarían en una página plana. Podemos resaltar en un primer plano los elementos de mayor interés, desplazando los menos atractivos o relegándolos a la periferia. La presentación gráfica ayuda al usuario a adquirir un sentido del contexto.

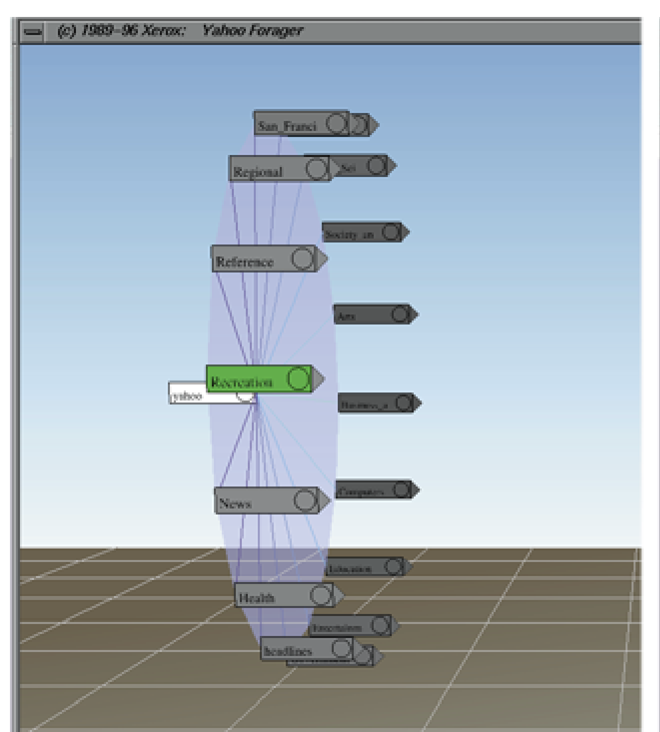
Esa toma de conciencia del propio entorno virtual puede convertir el acceso a la información en una exploración aventurera. Los usuarios pueden encontrar resultados parciales que les gustaría emplear más tarde,

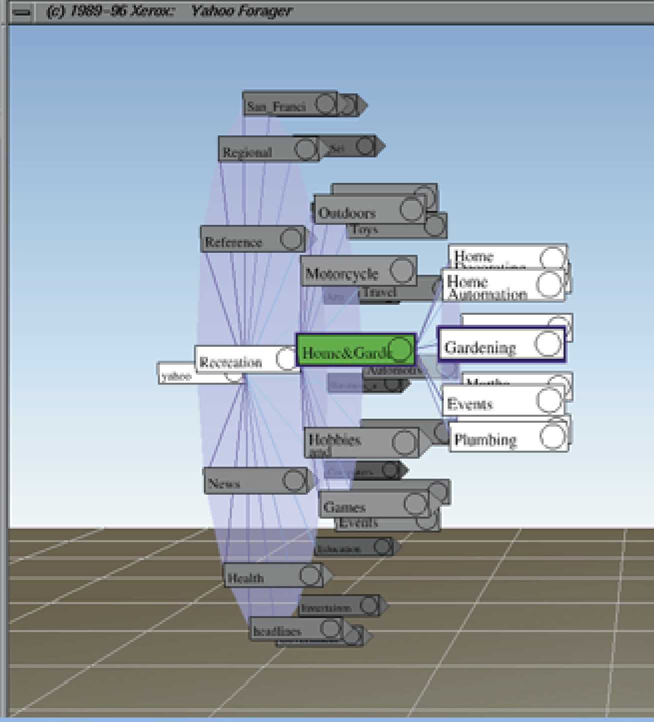
dar con mejores maneras de expresar sus preguntas, deslizarse por vericuetos que al principio no les parecían idóneos; quizás incluso considerar su tema desde una perspectiva completamente diferente. Alicia podría conseguir eso garabateando unas notas a medida que hurga en Yahoo, pero un prototipo de interfaz que han desarrollado mis colegas del Centro de Investigación Xerox de Palo Alto tiene por objetivo que todas esas actividades tan de sentido común se lleven a cabo de un modo más eficaz.

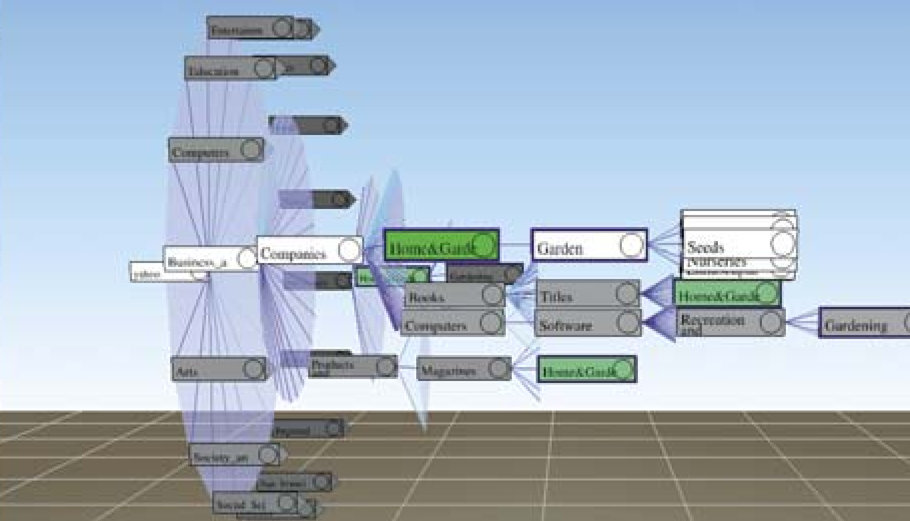
El programa, llamado Visualizador de Información, traza un árbol tridimensional animado que enlaza cada categoría con todas sus secciones. Si Alicia busca "huerto" en el árbol de Yahoo, las seis áreas que contienen como subsección "huerto" u "horticultura" se iluminan. En ese momento se pueden "traer" esas categorías a un primer plano para ver adónde llevan. Cuando un camino se acaba, los que no se han explorado están a la corta distancia de un toque de ratón.

Cuando Alicia encuentra documentos interesantes, este sistema le permite guardarlos, junto con los términos de la consulta que le condujeron a ellos, en un libro virtual. Puede colocar el libro en una estantería virtual donde queda siempre a la vista y con una etiqueta clara. El fin de semana siguiente, Alicia puede retomar el hilo donde lo había dejado volviendo a abrir el libro, abriendo una página y planteando de nuevo su consulta.

Nuestra interfaz no resulta de particular ayuda en la titánica labor de organizar los contenidos de toda la red. Como en la red los puestos aparecen mucho más rápidamente de lo que se tarda en clasificarlos a mano, la fracción listada en Yahoo (o en cualquier otro servicio) mengua de día en día. Y algunos puestos, como el de la revista *Time*, que contiene artículos sobre muchos temas diferentes, con frecuencia aparecen en







3. EL VISUALIZADOR de información es un sistema que emplea gráficos tridimensionales animados para aclarar jerarquías complejas, tales como el árbol de categorías empleado por Yahoo. Los epígrafes de las secciones se colocan en una estructura arborescente al mismo nivel (*arriba, a la izquierda*). Sólo parte de los rotulados son visibles al mismo tiempo, pero al escoger con el ratón una de las etiquetas del fondo (*más pequeñas y sombreadas*) se hace girar la arborescencia correspondiente, se coloca la etiqueta en primer plano y se muestran las subcategorías que contiene (*arriba, a la derecha*). Al buscar el título de una categoría ("huerto", por ejemplo) se iluminan las etiquetas correspondientes en la jerarquía con líneas color violeta (*abajo, a la derecha*). Al contrario que las páginas corrientes de Yahoo, esta interfaz tridimensional permite al usuario saltar inmediatamente a cualquier parte de la jerarquía y consultar varias secciones a la vez.

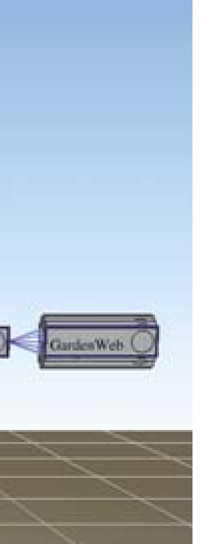
sólo algunas de las muchas secciones particulares.

Otros dispositivos de búsqueda, como Excite y AltaVista, son considerablemente más amplios; pero en ello reside su talón de Aquiles. Si tía Alicia consulta en Excite la serie de palabras clave “ajo cebolla otoño otoñal huerto cultivo” se encontraría, en el momento de escribir este artículo, con 583.430 páginas, para hojear las cuales (a dos minutos por página) echaría más de dos años ininterrumpidos. Las largas listas plagadas de material irrelevante o que no responden a la cuestión son el resultado inevitable de una búsqueda cuyo objetivo consiste en obtener todos los documentos de interés; a la inversa, una búsqueda más restringida casi con seguridad excluiría muchas páginas útiles.

Las entradas cortas, necesariamente vagas, fomentadas por la mayoría de los dispositivos de búsqueda de Internet con sus apretados formularios de entrada, agudizan el problema. Un modo de ayudar a los usuarios a describir con más precisión qué es lo que quieren es permitirles usar operadores lógicos, tales como Y, O y NO para especificar qué palabras deben o no figurar en las páginas del elenco. Pero muchos usuarios se asustan ante esta notación booleana, quedan confundidos o lisamente les parece inútil. De las propias consultas de los expertos sólo se puede sacar partido en tanto en cuanto los términos escogidos sean los correctos.

Cuando miles de documentos responden a un criterio, ni siquiera conceder más peso a aquellos que contengan mayor número de términos buscados o de palabras clave poco corrientes (que suelen ser más importantes) garantiza que las páginas más pertinentes vayan a aparecer al comienzo de la lista. En consecuencia, el usuario de un dispositivo de búsqueda con frecuencia no tiene otra salida que examinar las entradas del elenco una por una.

Una mejor solución consiste en diseñar métodos de interacción con el usuario que impongan algún orden en la vasta amalgama de información generada por las búsquedas. Existen algoritmos que pueden agrupar automáticamente las páginas en ciertas categorías, como hacen los técnicos de



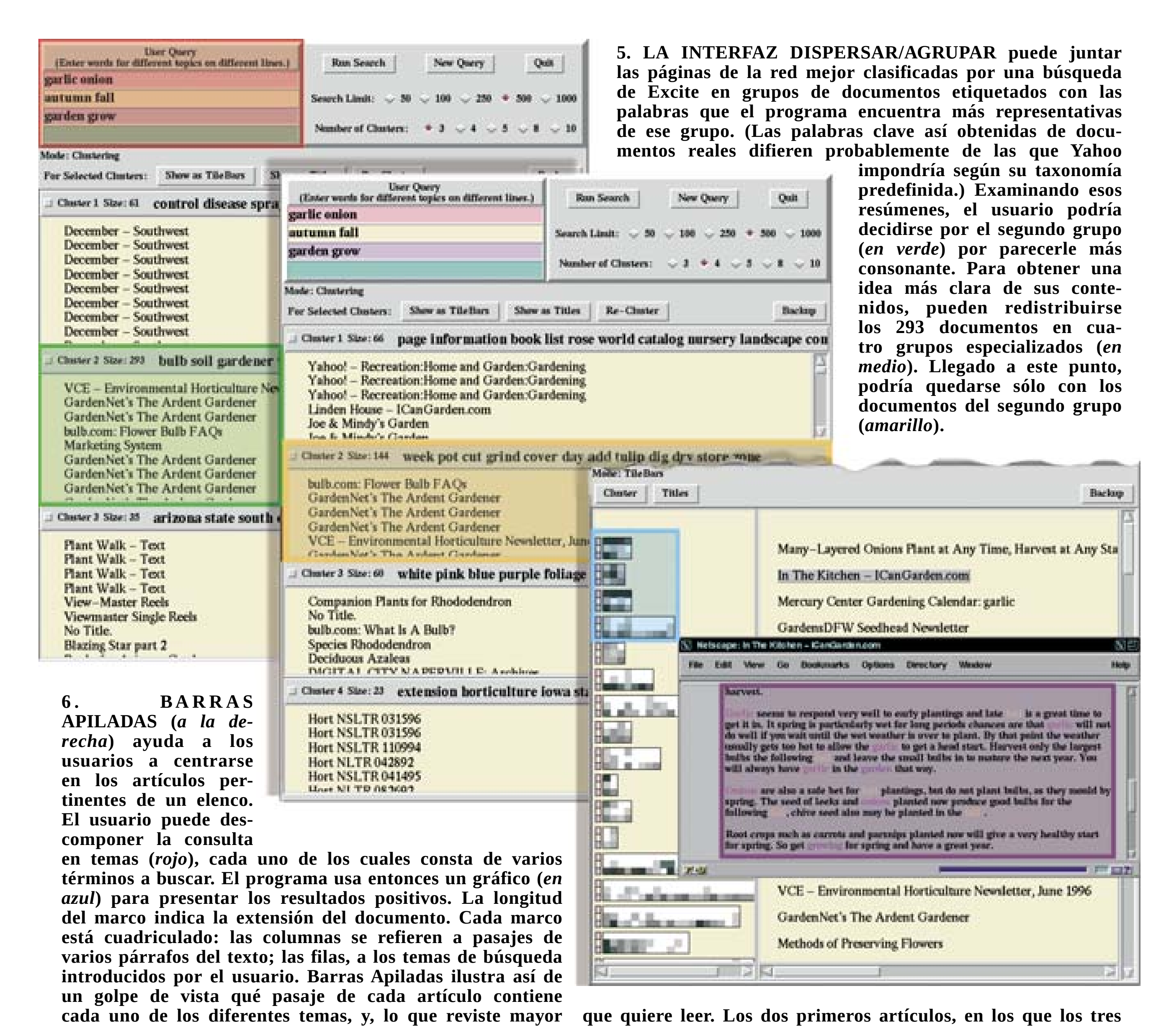


4. LOS DISPOSITIVOS DE BUSQUEDA de la red, como es el caso de Excite, devuelven muchos documentos que tienen algo que ver (la consulta “ajo cebolla otoño otoñal huerto cultivo” devuelve más de medio millón de enlaces), pero muchos carecen de interés. Hasta los mejores algoritmos para ordenar los textos según un criterio de pertenencia son poco fiables si las consultas contienen unas cuantas palabras clave. Los dispositivos de búsqueda existentes no suelen ofrecer ninguna indicación sobre los criterios con los que se escogen y clasifican los artículos.

Yahoo. Pero ese método no tiene en cuenta el hecho de que muchos textos no se pueden encorsetar en una sola categoría. A los objetos reales se les puede asignar habitualmente un lugar único en una taxonomía (una cebolla es una clase de hortaliza), pero rara sería la página de la red que hablara sólo de las cebollas. Por el contrario, un texto típico tratará sobre distribuidores del producto, recetas de sopas o un debate sobre el cultivo de cebollas importadas frente a las autóctonas. Al construir jerarquías se tiende a crear categorías de especificidad creciente para tratar tales casos (“distribuidores de cebollas”, “recetas de sopa con cebolla” o “debates agrícolas sobre las cebollas”, y así sucesivamente). Una solución alternativa más manejable consiste en clasificar los documentos según los títulos de las secciones pertinentes, junto con otro conjunto de atributos (fuente, fecha, género y autor). Los investigadores del proyecto de biblioteca digital de la Universidad de Stanford están desarrollando una interfaz llamada SenseMaker siguiendo estas orientaciones.

En los Laboratorios Xerox de Palo Alto hemos desarrollado un método alternativo para agrupar el elenco de páginas producidas por un dispositivo de búsqueda. El sistema, denominado Dispersar/Agrupar, crea un índice de materias que cambia a medida que el usuario va comprendiendo cuál es la clase de documentos disponibles y cuál su interés.

Imaginemos que tía Alicia realiza su búsqueda sirviéndose de Excite y toma las primeras 500 páginas de la red que se le proponen. A partir de ahí, el sistema Dispersar/Agrupar puede analizar esas páginas y clasificarlas en grupos de acuerdo con la similaridad entre ellos. Alicia puede examinar rápidamente cada grupo y seleccionar los que le parecen apropiados.



5. LA INTERFAZ DISPERSAR/AGRUPAR puede juntar las páginas de la red mejor clasificadas por una búsqueda de Excite en grupos de documentos etiquetados con las palabras que el programa encuentra más representativas de ese grupo. (Las palabras clave así obtenidas de documentos reales difieren probablemente de las que Yahoo impondría según su taxonomía predefinida.) Examinando esos resúmenes, el usuario podría decidirse por el segundo grupo (*en verde*) por parecerle más consonante. Para obtener una idea más clara de sus contenidos, pueden redistribuirse los 293 documentos en cuatro grupos especializados (*en medio*). Llegado a este punto, podría quedarse sólo con los documentos del segundo grupo (*amarillo*).

6. BARRAS APILADAS (*a la derecha*) ayuda a los usuarios a centrarse en los artículos pertinentes de un elenco. El usuario puede descomponer la consulta en temas (*rojo*), cada uno de los cuales consta de varios términos a buscar. El programa usa entonces un gráfico (*en azul*) para presentar los resultados positivos. La longitud del marco indica la extensión del documento. Cada marco está cuadriculado: las columnas se refieren a pasajes de varios párrafos del texto; las filas, a los temas de búsqueda introducidos por el usuario. Barras Apiladas ilustra así de un golpe de vista qué pasaje de cada artículo contiene cada uno de los diferentes temas, y, lo que reviste mayor importancia, la frecuencia con la que se menciona cada tema (los recuadros más oscuros representan más menciones). La fila superior de cada rectángulo indica aquí las ocurrencias de las palabras "ajo" y "cebolla", del primer tema; la fila de en medio corresponde al término "otoño" y "otoñal", y así sucesivamente. Esta interfaz le permite al usuario tomar decisiones razonadas sobre los documentos que quiere leer. Los dos primeros artículos, en los que los tres temas pertinentes se superponen en varios pasajes, resultarán probablemente más apropiados que el último documento, por ejemplo, que no hace mención de ajos o cebollas. Al escoger con el ratón cualquier recuadro de un marco se llama a un programa que muestra en una ventana (*violeta*) el pasaje correspondiente de ese texto, con las palabras clave destacadas en colores apropiados.

Aunque la evaluación del comportamiento del usuario es un proceso inexacto y difícil de cuantificar, los ensayos iniciales sugieren que muchas veces el agrupamiento ayuda a los usuarios a identificar el documento que les interesa. Una vez que Alicia ha decidido, por ejemplo, que le parece especialmente prometedor el grupo de 293 textos bajo la etiqueta de "bulbo", "suelo" y "horticultura", puede pasarlos de nuevo por el sistema Dispersar/Agrupar, clasificándolos en un nuevo conjunto de agrupaciones más específicas. Al cabo de varias iteraciones, se consigue reducir las 500 páginas, muchas de ellas irrelevantes, a unas pocas docenas de páginas útiles.

Por sí misma, la agrupación de documentos no resuelve otro problema habitual de los dispositivos de búsqueda de la red del estilo de Excite: a saber, el misterio del criterio de elección de los documentos. Pero si el formulario de entrada fomentase que los usuarios desmenuzaran su consulta en varios grupos de palabras clave relacionadas, una interfaz gráfica podría indicar entonces qué temas de la consulta aparecen en los documentos de la lista y dónde. Si los temas apareciesen todos en un mismo pasaje, es más probable que el documento sea pertinente; en consecuencia, el programa lo privilegiaría. Pudiera ser que a Alicia le resultara difícil señalar de antemano qué temas deben aparecer en el documento

MARTI A. HEARST forma parte del personal investigador del Centro de Investigación Xerox en Palo Alto desde 1994. Se licenció y doctoró en informática en la Universidad de California en Berkeley.

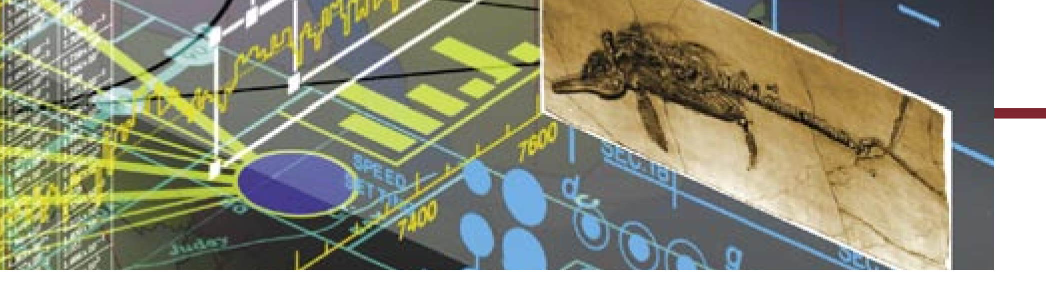
o cuán cercanos deben encontrarse. Pero sí que parece verosímil que reconozca lo que busca en cuanto lo vea, y que de resultas sea capaz de refinar su consulta. Y lo que es más importante, el sistema, al que llamo Barras Apiladas, puede ayudar a los usuarios a decidir qué documentos examinar y llevarles directamente a los pasajes más pertinentes.

Sólo ahora se empieza a sacar partido de las posibilidades que ofrecen las interfaces de usuario innovadoras y las técnicas de análisis de textos. Otros sistemas que combinan los métodos estadísticos con reglas simples pueden resumir automáticamente los documentos y clasificarlos según un sistema de categorías ya existente. Pueden sugerir sinónimos para las palabras buscadas y responder a preguntas simples. Aunque ninguna de estas prestaciones avanzadas se ha integrado en los dispositivos de búsqueda de la red, todo se andará. En el futuro, las interfaces de usuario podrían evolucionar incluso más allá de las presentaciones en dos y tres dimensiones, recurriendo a otros sentidos —como el oído— para ayudar a orientarse a las tías Alicia de todo el mundo y así explorar los nuevos espacios del universo de la información.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

RICH INTERACTION IN THE DIGITAL LIBRARY. Ramana Rao, Jan O. Pedersen, Marti A. Hearst y Jock D. Mackinlay *et al.*, en *Communications of the ACM*, vol. 38, n.º 4, páginas 29-39; abril 1995.

THE WEBBOOK AND THE WEB FORAGER: AN INFORMATION WORKSPACE FOR THE WORLD-WIDE WEB. Stuart K. Card, George G. Robertson y William York, en *Proceedings of the AACM/SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, Vancouver, abril 1996. Disponible en la red en http://www. acm.org/sigs/sigchi/chi96/proceedings /papers/Card/skc1txt.html.



BIBLIOTECAS DIGITALES

Las bibliotecas electrónicas harán palidecer las posibilidades actuales de Internet. Pero su construcción no será sencilla

Michael Lesk

En el centro de París, cabe la ribera del Sena, cuatro enormes edificios hállanse prestos, con sus 395 kilómetros de estanterías, para recibir hasta 22 millones de libros. El nuevo complejo Tolbiac de la biblioteca nacional francesa, con sus cuatro torres, tal vez sea, a un mismo tiempo, el primero y el último de su clase. El último, porque son muy pocas las ciudades que pueden permitirse la construcción de obras públicas tan ambiciosas. Pero también el primero, porque la Biblioteca Nacional de Francia va a rematar su jugada con una "pièce de résistance": centenares de estaciones de trabajo electrónicas que proporcionarán fácil acceso electrónico al texto completo de 110.000 volúmenes que cubren gran parte de la historia y de la cultura francesas.

Por todo el mundo, las bibliotecas han emprendido la hercúlea tarea de creación de copias digitales fieles de los libros, imágenes y grabaciones en que se preserva el legado intelectual de la humanidad. Para los eruditos de despacho, la empresa promete poner tal emporio de información al alcance de sus escritorios que, en retrospectiva, la Internet actual parecerá obra de aficionados. Son muchos, empero, los obstáculos técnicos, económicos y jurídicos que todavía hacen inseguro el cumplimiento de tal promesa.

Los bibliotecarios ven en la digitalización tres ventajas claras. Ante todo, les ayuda a preservar objetos raros y frágiles sin prohibir el acceso a quienes desean estudiarlos. La Biblioteca Británica, por ejemplo, conserva en Londres el único ejemplar manuscrito medieval de *Beowulf*. Tan sólo tenían acceso a él acreditados estudiosos, hasta que Kevin S. Kiernan, de la Universidad de Kentucky, lo sometió a exploración óptica con tres fuentes luminosas distintas (revelando al hacerlo detalles inapreciables a simple vista) y puso las imágenes en Internet, donde cualquiera puede examinarlas. Análogamente, la Biblioteca Nacional de la Dieta de Tokio está preparando fotografías digitales sumamente detalladas de 1236 xilografías de rollos y de otros materiales considerados tesoros nacionales, de forma que los investigadores puedan escudriñarlos sin necesidad de manejar los originales.

Una segunda ventaja es la comodidad. Convertidos los libros a forma digital, los solicitantes pueden recibirlos en segundos. Varias personas pueden leer simultáneamente el mismo libro o examinar la misma figura. Los bedeles quedan liberados de la tarea de devolver los libros a los estantes. Y las bibliotecas podrían, es de suponer, valerse de Internet para prestar sus colecciones virtuales a quienes no puedan consultarlas en persona.

La tercera ventaja de las copias electrónicas es que ocupan espacios milimétricos de disco magnético en lugar de metros de estantería. La ampliación de los edificios de biblioteca resulta cada vez más cara. Recientemente, la Universidad de California en Berkeley invirtió 46 millones de dólares en un anexo subterráneo donde albergar un





1. LAS TORRES TOLBIAC, nueva y gigantesca sede de la Biblioteca Nacional de Francia, en el corazón de París (*que vemos a la izquierda*), disponen de estanterías para 22 millones de libros. Pero 100.000 de los volúmenes de la biblioteca, almacenados digitalmente en forma de imágenes de páginas, apenas si requerirán espacio y serán accesibles instantáneamente a través de estaciones de trabajo distribuidas por todo el complejo.

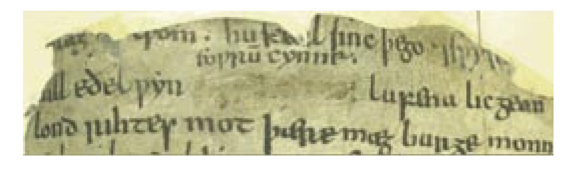
millón y medio de libros, con un costo medio de 30 dólares por libro. El precio del almacenamiento en disco, por el contrario, ha caído hasta unos 2 dólares por publicación de 300 páginas, y continúa abaratándose.

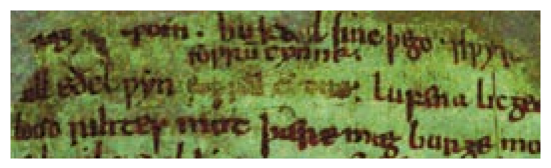
Soluciones técnicas

No es posible disfrutar a la vez de todas estas ventajas. Cada una de las diversas opciones técnicas al alcance de las bibliotecas impone ciertas componendas entre preservación, facilidad y coste. Por ejemplo, el procedimiento más económico es la exploración óptica de las páginas para convertirlas en imágenes digitales. Anne Kenney, de la Universidad de Cornell, comprobó en 1992 que los libros del siglo XIX podían transformarse en páginas de imagen a un costo de 30 a 40 dólares por volumen, correspondiendo el principal concepto de tal importe a los salarios de los operadores de los escáneres. La técnica PhotoCD de Kodak, que automatiza el proceso de digitalización de negativos fotográficos, podría rebajar considerablemente tal coste. Valiéndose de PhotoCD, la Universidad de Harvard ha podido convertir 80.000 carteles de sus fondos Judaica a razón de 1000 diarios y a un costo de sólo 2 dólares la unidad. Dado que las bibliotecas arrastran una pertinaz escasez de recursos económicos, se someterán a barrido óptico la mayoría de los objetos cuya conversión a forma digital está prevista; entre ellos, el 91 por ciento de los libros electrónicos de la biblioteca nacional francesa y cinco millones de ejemplares que la biblioteca del Congreso estadounidense proyecta digitalizar en el año 2000.

El barrido óptico es también una opción adecuada con miras a la conservación. Ese proceso capta el aspecto del libro y las notas manuscritas al margen. Y los elementos no textuales, aunque se hallen repletos de detalles minuciosos, pueden convertirse en imágenes de alta resolución. Tal proceder, claro está, puede producir archivos desmesuradamente grandes. Para garantizar una imagen legible de un mapa de 380 por 788 mm con detalles de sólo 1,27 mm de altura, se requiere una resolución de 4500 × 9300 píxeles, creando un archivo de 125 megaoctetos, volumen suficiente para asfixiar a muchos ordenadores de sobremesa. Este obstáculo acabará por desaparecer gracias a máquinas más potentes y a nuevos formatos de imagen susceptibles de presentación a resoluciones más bajas cuando así se desee.

El principal inconveniente del barrido es que sólo produce imágenes digitales, las cuales, como las páginas impresas de los libros, son adecuadas exclusivamente para ser vistas o leídas. No existe por ahora un procedimiento sencillo para localizar una cita concreta o un pasaje enterrado en la imagen digital de un libro. Estas imágenes no resultan sencillas de enviar por correo electrónico a un amigo o de adjuntar a la recensión de un libro. Y en el caso de usuarios con minusvalías visuales, las imágenes de los libros no resultan más accesibles que los propios libros.





2. LOS BARRIDOS DE *BEOWULF* con iluminación del día (*arriba*), con retroiluminación (*centro*) y con luz ultravioleta (*abajo*), ahora disponibles en Internet, revelan detalles que no resultan inmediatamente visibles en el original, conservado en la Biblioteca Británica de Londres.

Para muchas finalidades, el texto electrónico —el que podemos manipular e indizar mediante procesadores de texto— resultaría mucho más adecuado que las imágenes escaneadas. La forma menos onerosa de convertir material impreso en texto electrónico es utilizar programas de reconocimiento óptico de caracteres (ROC). Estos programas, que utilizan técnicas de concordancia de formas para ir extrayendo una por una las letras de las imágenes exploradas, han ido adquiriendo cada vez mayor exactitud en estos últimos años, a la par que reduciendo su coste. Los programas punteros logran identificar correctamente más del 99 por ciento de los caracteres en imágenes de prueba estándar, lo que significa que aún introducen una docena o más de errores en cada página. Un número de erratas tan elevado todavía podría resultar aceptable si el texto sirviera para indización, y no para lectura. De no ser así, los errores han de corregirse a mano, proceso laborioso que cuesta tanto o más que el barrido.

En el año 2000, la mitad del material de las grandes bibliotecas será digital

La Fundación Andrew W. Mellon ha estado siguiendo este último método en su proyecto de archivado de revistas, con el fin de digitalizar diez publicaciones periódicas de economía y de historia de frecuente consulta. Aunque el proyecto paga 39 céntimos de dólar por página —equivalentes a unos 120 dólares para un libro de 300 páginas— para los gastos de exploración, ROC y corrección posterior, la fundación estima que recuperará fácilmente este gasto por la reducción de costos de catalogación y de almacenamiento. (En forma de archivos de texto, los libros ocupan una décima parte del espacio de disco que ocuparían como archivos de imágenes de páginas.) Además, esta inversión permitirá a los lectores una identificación más rápida de los artículos interesantes.

Evidentemente, todo archivo que pretenda reemplazar a las publicaciones en papel ha de incluir los dibujos y fotografías que figuran en las obras originales. Pero las ilustraciones provocan confusiones en los programas de ROC. Felizmente, se han desarrollado hace poco programas nuevos capaces de identificar automáticamente las ilustraciones, lo que permite preservarlas como imágenes e insertarlas en los lugares adecuados del texto electrónico. Esta técnica, aplicada por la Sociedad Americana de Química para extraer casi 400.000 figuras y diagramas de 428.000 páginas de revistas de química, se basa en que el texto oscurece la página de una forma regular y predictible,

mientras que los dibujos tienden a ser más claros e irregulares.

La forma más lenta de trasladar un libro a un ordenador consiste en copiarlo en él, mecanografiándolo. Es también el método más costoso, a pesar de que existen actualmente en Asia compañías que emplean con salarios muy bajos a millares de personas, y son capaces de llevar a cabo tareas enormes. La copia mecanográfica, especialmente cuando la acometen personas que no comprenden el lenguaje que están copiando, es capaz, por lo general, de captar idiosincrasias y variantes ortográficas del original que suelen ser inadvertidamente "corregidas" por el ROC. Y en caso de textos formateados, como el *Oxford English Dictionary*, con su plétora de fuentes tipográficas para matizar aspectos lingüísticos sutiles, la única forma fiable de convertir el texto en forma digital es el mecanografiado. Este procedimiento, sin embargo, resulta inaceptablemente caro, salvo para las obras de máxima importancia: un texto ordinario de 300 páginas viene a costar unos 600 dólares, y la codificación del formato del documento en Hypertext Markup Language (HTLM, lenguaje informático utilizado en la red) o en alguno de sus parientes puede costar 900 dólares, 30 veces más que el simple barrido óptico de sus páginas.

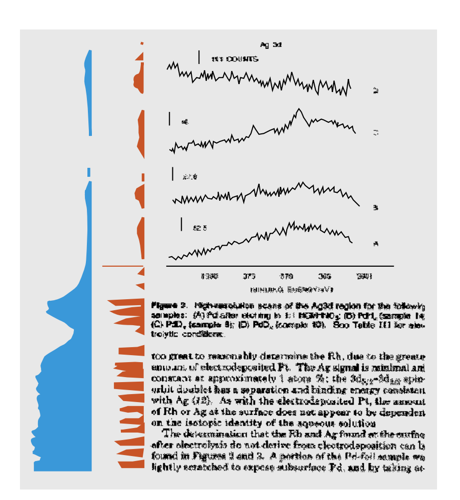
En la actualidad, casi todo el material nuevo adquirido por las bibliotecas tiene su origen en algún ordenador. Las bibliotecas gozan de creciente capacidad de disponer bajo licencia de grandes cantidades de material en CD-ROM o en alguna otra forma legible por máquinas, evitando así de raíz la necesidad de conversión. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), por ejemplo, codifica en lenguaje HTLM la totalidad de las 62 revistas que publica, lo que permite su lectura "en línea". Dado que los solicitantes utilizan, por lo general, las adquisiciones más recientes de las bibliotecas con mucha mayor frecuencia que los fondos antiguos, tengo confianza de que para el año 2000 la mitad del material al que se acceda en las grandes bibliotecas se encontrará en forma digital. Empero, es probable que hagan falta otros diez años más antes de que la mitad de los materiales de las bibliotecas queden disponibles en formatos digitales.

MICHAEL LESK dirige el laboratorio de investigación que Bellcore posee en Morristown, Nueva Jersey.

Riesgos del camino

Esta transición plantea algunos riesgos. En el decenio de 1980, cuando muchas bibliotecas informatizaron sus catálogos, los bibliotecarios detectaron que en cuanto cosa de una tercera parte de las fichas bibliográficas estaba en línea, los usuarios tendían a olvidarse de las demás. Análogamente, en cuanto sean los propios libros los disponibles en línea, toda biblioteca que no proporcione acceso en línea a material antiguo encontrará que estos libros quedan huérfanos. Pese a todo su potencial para mejorar la erudición, la biblioteca electrónica puede durante cierto tiempo producir el efecto contrario.

Los vacíos jurídicos sobre los derechos de autor y de la publicación de las obras en formato digital plantean asimismo problemas espinosos. La multinacional IBM, que preparó un CD-ROM para conmemorar el quinto centenario del viaje de Colón, gastó un millón de dólares en permisos por derechos. Hasta el momento, para evitarse quebraderos de cabeza en complicaciones administrativas, casi todas las bibliotecas se han limitado a convertir materiales publicados antes de 1920 (y por ello, sin gravámenes). La Biblioteca del Congreso, por ejemplo, ha digitalizado millares de fotografías de la Guerra de Secesión, documentos del Congreso Continental y discursos de la Primera Guerra Mundial, pero no *Lo que el viento se llevó*. Cuando la Universidad de Cornell decidió convertir bibliografía agronómica de importancia fundamental, del período 1850-1950, en beneficio de las naciones en vías de desarrollo, evitó cuidadosamente todos los libros que tuvieran en vigencia derechos de autor.



3. SEPARACION de imágenes y texto en las páginas barridas, automáticamente realizada por programas desarrollados para la Sociedad Americana de Química. Estos programas examinan la densidad de píxeles negros en cada franja vertical de la página, para delimitar las columnas de texto. Seguidamente, miden la densidad de píxeles en las líneas horizontalmente exploradas (*color anarajado*) y deducen matemáticamente el espaciado entre las líneas de texto. Calculan después una función de autocorrelación (*azul*) que produce valores elevados para textos con espaciado uniforme y valores mucho más bajos para las ilustraciones. Seleccionando las regiones que caen por debajo de cierto valor umbral, el sistema consigue aislar fiablemente las imágenes.

A menos que a las bibliotecas se les permita compartir ejemplares digitales de los libros con la misma facilidad con que comparten los ejemplares impresos, a veinte años vista los visitantes de una biblioteca pueden encontrarse con que todo el material está en línea, excepto una extraña pila de libros publicados entre 1920 y 1990, una especie de mar de los Sargazos de publicaciones relegadas a las estanterías. Los recortes presupuestarios pueden dificultar la obtención de las grandes sumas necesarias para los proyectos de conversión. *Lo que el viento se llevó* fue solicitado el año pasado muchas más veces que ninguno de los ampulosos discursos de la Primera Guerra Mundial; una forma de recabar el apoyo popular puede consistir en digitalizar cuanto antes los fondos más solicitados.

En su defecto, las instituciones podrían asociarse para compartir a través de Internet sus colecciones virtuales, repartiéndose los costos de creación de las mismas. Pero los problemas políticos y organizativos —¿cuánto servicio deberían proporcionar las bibliotecas a quienes no son del lugar? ¿cómo repartir equitativamente entre las diversas instituciones las cargas de adquisición y mantenimiento del material?— han dado al traste, hasta el momento, con las tentativas de cooperación.

En cuanto estos obstáculos queden eliminados, y se haya digitalizado millones de libros, imágenes y registros, ¿podrán nuestros hijos hallarlos,

contemplarlos, indagar en ellos e imprimirlos? El problema no está en la duración de los dispositivos físicos, sino en el envejecimiento técnico. Cada pocos años, los bibliotecarios tienen que trasladar sus colecciones a formatos nuevos y a nuevos equipos. El copiado de archivos de unos a otros dispositivos no debería plantear dificultades serias: los bits son bits. Pero los formatos de la programación son muchos más y mucho más mudables, por lo que fácilmente quedan rezagados.

Sucede, además, que ciertos formatos no pueden traducirse en otros sin pérdida de información. Alguna ayuda presta la creciente aceptación de formatos normalizados para imágenes y para textos. Pero algunos de los estándares, como el SGML (Standardized General Markup Language) para texto, tienen una definición tan laxa que ningún programa logra, por sí solo, mostrar fácilmente todos los documentos que se adhieren a él.

No son las bibliotecas los únicos repositorios que están haciéndose digitales. Las cuestiones que han de afrontar y las opciones entre las que elegir se les plantean también a instituciones gubernamentales, como la NASA, o a las empresas que convierten planos o registros sanitarios. Los trabajos de conversión van a requerir decenios y a costar miles de millones de dólares. Pero al igual que hoy oímos interpretar las fugas de Bach tanto al piano como al clavecín, que podemos leer los dramas de Shakespeare o recitarlos en voz alta, con el tiempo nos serviremos de ordenadores interconectados en red para gozar del emporio de la creación humana de forma más fácil, económica y gentilmente de lo que jamás ha sido posible.

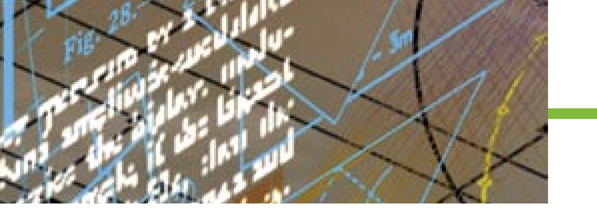
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE DIGITIZATION OF PRIMARY TEXTUAL SOURCES. Peter Robinson. Office for Humanities Communication, Universidad de Oxford, 1993.

BUILDING LARGE-SCALE DIGITAL LIBRARIES. Número especial de *Computer*, vol. 29, n.º 5; mayo de 1996.

El plan del *Journal Storage Project* está disponible en la Web, en http:/// www.mellon.org/jesc.html

PRACTICAL DIGITAL LIBRARIES: BOOKS, BYTES AND BUCKS. Michael Lesk. Morgan Kaufmann (en prensa).



LA SELECCION DE INFORMACION EN INTERNET

El examen de etiquetas ayuda a decidir si los puestos de la red y lo que contienen nos interesan y si no comportan riesgos

Paul Resnick

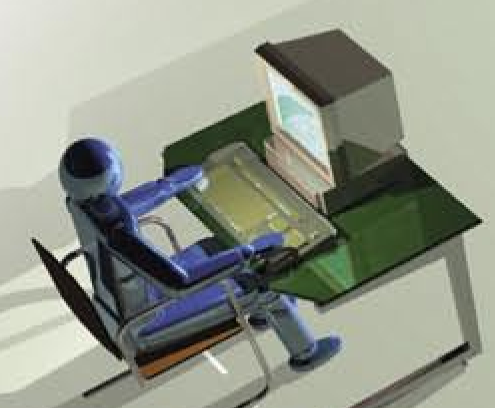
Suele decirse que Internet es una aldea global, lo que hace pensar en una comunidad enorme aunque íntimamente imbricada, cuyos miembros comparten valores y experiencias comunes. Tal símil es equívoco. Son muchas las culturas que coexisten en Internet y a veces entran en conflicto. En sus espacios públicos, interactuamos comercial y socialmente con extraños, además de con amigos y conocidos. Más acertado sería comparar la red con una ciudad, que ofrece un sinfín de oportunidades y una miríada de peligros.

Para eludir los barrios degradados, peligrosos o sencillamente aburridos, los usuarios pueden valerse de ciertas técnicas de filtrado automático que detectan los riesgos fáciles de reconocer. Una de ellas se basa en el análisis del contenido del material disponible. Por ejemplo, los programas antivirus buscan fragmentos de código que se saben frecuentes en los virus informáticos. Ciertos servicios, como AltaVista y Lycos, pueden resaltar o excluir documentos de la red que contengan determinadas palabras. El autor y sus colaboradores han venido trabajando en otra técnica de filtrado, basada en dotar a los puestos de la red de etiquetas electrónicas, cuyo propósito es la descripción de obras digitales. Tales etiquetas pueden reflejar características que requieran ser valoradas por personas —si se trata, por ejemplo, de una página entretenida o soez—, amén de informaciones no fáciles de reconocer a partir de las palabras y las imágenes, como las prácticas de ciertos puntos de la red sobre la utilización o reventa de datos personales.

El World Wide Web Consortium, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, ha desarrollado un conjunto de estándares técnicos llamado PICS (Platform for Internet Content Selection, literalmente, "plataforma para la selección de contenidos en Internet") con el fin de permitir la distribución electrónica, en una forma sencilla y legible por ordenadores, de reseñas de las obras digitales. Los ordenadores pueden procesar estas etiquetas en segundo plano, protegiendo automáticamente a los usuarios de materiales no deseados o encaminando su atención hacia puestos de especial interés. Inicialmente se pretendía que PICS facultara a los padres y a los educadores el bloqueo del acceso a materiales juzgados impropios para los niños. Pero en lugar de someter a censura lo que se distribuye, como la norteamericana Ley para la Decencia en las Comunicaciones y otras propuestas legislativas postulan, PICS permite a los usuarios controlar lo que reciben.

¿Qué contiene una etiqueta?

Las etiquetas PICS nos facultan para describir cualquier aspecto de un documento o de un puesto de la red. Las primeras etiquetas identificaban elementos que pudieran infringir las leyes locales sobre indecencia. Por ejemplo, el estadounidense consejo asesor de programas recreativos RSAC ("Recreational Software Advisory Council"), adaptó para Internet su sistema de calificación de los juegos de ordenador. Las etiquetas RSACi (la "i" significa Internet) contienen cuatro números, indicativos de niveles de violencia, desnudez, sexo y la posibilidad de que utilicen un lenguaje agresivo o soez. Otra orga-

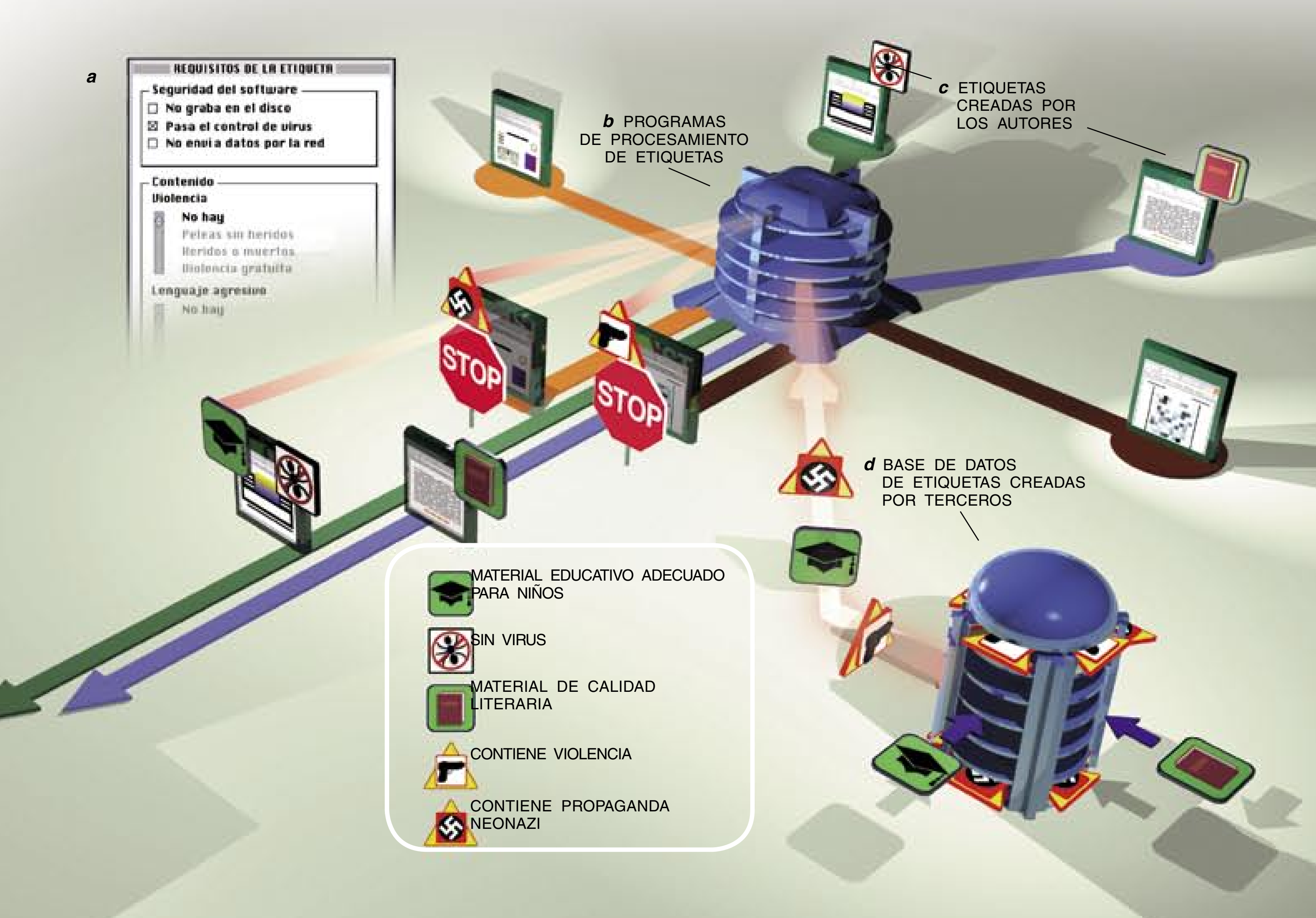


1. UN SISTEMA DE FILTRADO para la red permite a los individuos decidir por sí lo que desean ver. Los usuarios especifican los niveles de seguridad y de contenido (*a*), que los programas de procesamiento (*b*) de etiquetas consultan para determinar si han de impedir el acceso a ciertas páginas (marcadas con una señal de "stop"). Las etiquetas pueden ser asignadas por el autor del puesto de la red (*c*). Además, una agencia de calificación puede almacenar aparte sus etiquetas en una base de datos. (*d*)

nización, SafeSurf, ha desarrollado un vocabulario con nueve escalas. Pero las etiquetas pueden ir más allá de la calificación moral, para atender a preocupaciones de otro tipo. Por ejemplo, un vocabulario relativo al respeto a la intimidad podría reflejar el proceder de ciertos puestos o nodos con la información que recogen: clase de datos personales que solicitan y posibilidad de que tales datos se pongan en venta. De forma similar, un vocabulario de propiedad intelectual podría describir en qué condiciones es lícito el examen o la reproducción de un elemento [*véase más adelante en este informe* "Sistemas de confianza", por Mark Stefik]. Y diversas organizaciones de indización de la red podrían preparar etiquetas orientadoras sobre las categorías temáticas o la fiabilidad de la información facilitada por un puesto.

Las etiquetas podrían incluso proteger a los ordenadores de las infecciones por virus. Cada vez está más difundida la práctica de "bajar", desde puestos de Internet, pequeños fragmentos de código informático, parches para enmendar errores de los programas e incluso aplicaciones completas. Se confía, en general, en que los ficheros transferidos no introducirán virus; el margen de seguridad se podría ampliar examinando si portan etiquetas que manifiesten que se trata de programas o de ficheros seguros. El vocabulario correspondiente a tales etiquetas podría indicar qué clase de inspecciones antivirus se han efectuado sobre el material informático y el nivel de confianza que éste merece desde el punto de vista de la seguridad.

En el mundo físico, las etiquetas pueden adjuntarse a los objetos que describen o pueden distribuirse por separado. Por ejemplo, en el salón de exposiciones, los automóviles nuevos llevan adheridas pegatinas que exponen sus características y precios; por otra parte, los interesados pueden también consultar listados y valoraciones independientes, como las de las revistas del motor. De igual manera, podemos adherir o despegar las etiquetas PICS. Un proveedor de información que desee ofrecer descripciones de sus materiales puede incrustar directamente las etiquetas en documentos para la red o adherirlas a elementos recuperados de ella. Los materiales son también susceptibles de descripción por terceros, indepen-



```
(PICS-1.1 "http://www.w3.org/PICS/vocab.html"
labels
by "paul@GoodMouseClicking.com"
for "http://www.w3.org/PICS"
generic
exp "1997.04.04T08:15-0500"
ratings (q 2 v 3) )
```


2. EL CODIGO informático correspondiente a una etiqueta del estándar PICS no es, normalmente, leído por personas, sino por programas especiales. La etiqueta mostrada, más o menos típica, califica tanto la calidad literaria como el contenido de violencia del nodo. http://www.w3.org/PICS

dientes. Por ejemplo, el Centro Simon Wiesenthal, que sigue la pista a las actividades de los grupos neonazis, podría publicar etiquetas PICS que identificasen páginas con propaganda neofascista. Estas etiquetas quedarían almacenadas en un servidor aparte; no todos quienes visitasen las páginas neonacionalsocialistas tendrían que ver las etiquetas del Centro Simon Wiesenthal, pero quienes estuvieran interesados podrían instruir a sus programas para que automáticamente indagasen si las hay.

Es posible configurar los programas de manera que no sólo hagan saber a los usuarios la existencia de etiquetas, sino también para que actúen directamente fundándose en ellas. Varios paquetes de programas de la red, entre ellos CyberPatrol y el Internet Explorer de Microsoft, utilizan ya el estándar PICS para controlar el acceso a los puestos. Tales programas pueden tomar decisiones por su cuenta basándose en cualquier vocabulario compatible con PICS. El usuario que inserte en su equipo el vocabulario RASCi puede establecer los niveles máximos de lenguaje, de desnudez, de sexo y de violencia; quien inserte un vocabulario de seguridad informática puede decidir qué virus exactamente son los que desea controlar.

Además de bloquear el acceso a materiales no deseados, el procesamiento de etiquetas puede ayudar a encontrar materiales deseables. Si el usuario manifiesta preferencia por obras de elevada calidad literaria, un programa buscador podría sugerir enlaces con elementos etiquetados de ese modo. Y si el usuario prefiere que no sean recopilados y vendidos datos suyos de índole personal, un servidor de la red puede ofrecer una versión de su servicio que no dependa de la recopilación de información personal.

PAUL RESNICK ingresó en los Laboratorios de Investigación AT&T en 1995 y preside el grupo de trabajo PICS en el Consorcio de la Red. Se doctoró en informática en 1992, en el Instituto de Tecnología de Massachusetts. Antes de ingresar en AT&T fue profesor en la Sloan School of Management en el MIT.

Creación de confianza

No todas las etiquetas son dignas de confianza. El creador de un virus podría fácilmente distribuir una etiqueta engañosa, que proclamase que el material en cuestión es seguro. El control mediante etiquetas se limita a trasladar el problema de la seguridad de los programas al de la confianza en las etiquetas. Una solución consiste en utilizar técnicas criptográficas que determinen si se ha modificado un documento después de creada su etiqueta y que aseguren que la etiqueta es obra de su autor declarado.

Esta solución, empero, se limita a cambiar nuevamente la cuestión, trasladándola de la confianza en la etiqueta a la confianza en su autor. Alicia puede confiar en las etiquetas de Benito si ha trabajado con él durante años o si éste dirige una importante compañía de programas, que se juega su reputación. Alicia podría, asimismo, confiar en algún tipo de organización de auditoría que avalase a Benito.

Ciertas etiquetas se ocupan de asuntos de gusto personal más que de hechos concretos. Los usuarios pueden encontrarse con que no confían en ciertas etiquetas, por la sencilla razón de que no comparten los criterios que las crearon. Para evitar este problema, GroupLens, Firefly y otros sistemas recomiendan libros, artículos, vídeos o selecciones musicales basándose en las calificaciones de personas de mentalidad afín. Los usuarios evalúan objetos con los que están familiarizados; los programas cotejan sus valoraciones con las opiniones manifestadas por otros usuarios. Al efectuar recomendaciones, los programas asignan prioridad máxima a los elementos aprobados por personas que coincidieron con el usuario en la valoración de otros materiales. No es necesario que se sepa quiénes estuvieron de acuerdo con ellos; pueden participar de forma anónima, preservando la reserva de sus evaluaciones y de sus hábitos de lectura.

Una dependencia generalizada del etiquetado suscita una serie de inquietudes de índole social. Las más evidentes se refieren a quién determina la etiqueta de un puesto y qué tipo de etiquetas son aceptables. En teoría,

cualquier persona podría etiquetar un puesto, y cada cual podría establecer sus propias reglas de selección. Pero existe el temor de que las autoridades puedan asignar etiquetas a los puestos, o de que dicten criterios con los que los propios puestos hayan de etiquetarse a sí mismos. Tenemos un ejemplo en un medio diferente, la industria de la televisión, que por presión del gobierno estadounidense ha empezado a elevar la edad mínima recomendable para los distintos programas.

El autoetiquetado obligatorio no tiene por qué desembocar en la censura previa, en tanto que los individuos puedan decidir qué etiquetas despreciar. Pero el público no siempre tiene este poder. Al aumentar el control del individuo queda sin base una de las justificaciones que se dan para el control central, pero ello no impide su imposición. Singapur y China, por ejemplo, están experimentando con "cortafuegos" nacionales, combinaciones de programas y de equipos que bloquean el acceso de sus ciudadanos a determinados grupos de noticias y puestos de la red.

Incluso sin censura central, existe el temor de que cualquier vocabulario de amplia difusión induzca a la gente a dejarse arrastrar por la pereza, y a tomar decisiones no concordantes con sus valores. En nuestros días, muchos padres que tal vez no estuvieran conformes con los criterios de calificación moral de las películas todavía prohíben a sus hijos ver películas graduadas PG-13 (para 13 años, con orientación de los padres) o R. Les resulta demasiado difícil sopesar por sí mismos los méritos de cada película.

Las organizaciones creadoras de etiquetas tienen que elegir los vocabularios con sumo cuidado, para atender a los criterios que casi todo el mundo considera importantes, pero aun así ningún vocabulario será capaz por sí solo de tener en cuenta las necesidades de todos. Las etiquetas que solamente se ocupen de valorar el nivel de contenido sexual de un puesto no le servirán de nada a quien esté preocupado por la violencia y la agresividad en el lenguaje. Y ningún sistema de etiquetado puede reemplazar por completo la evaluación reflexiva y concienzuda: la crítica cinematográfica de los diarios puede ser muchísimo más esclarecedora que ningún sistema de códigos predefinidos.

Tal vez el principal motivo de inquietud sea el temor de que cualquier sistema de etiquetado, por bien concebido y realizado que esté, propenderá a asfixiar la comunicación no comercial. La confección de etiquetas exige tiempo y dedicación de personas; probablemente serán muchos los puestos que, por su limitado interés, seguirán sin etiquetar. Preocupadas por la seguridad, ciertas personas bloquearán el acceso a materiales sin etiquetar o cuyas etiquetas no sean de toda confianza. Para tales personas, Internet funcionará como la radio o la televisión, proporcionando acceso solamente a los puestos con suficiente atractivo para los mercados de masas como para merecer los costos del etiquetado.

Este problema, aunque lamentable, es inherente a todo medio de difusión y no es consecuencia del etiquetado. En cualquier medio, cuando existen riesgos, el público tiende a eludir lo desconocido, y resulta mucho más fácil lograr información sobre asuntos de interés general que sobre cuestiones que sólo interesan a un público reducido.

Aunque la red prácticamente consigue eliminar las barreras técnicas para la comunicación con desconocidos, no elimina los costes sociales. Las etiquetas pueden reducir estos costos, al permitirnos decidir si vamos a otorgar nuestra confianza a puestos de la red posiblemente aburridos o a programas que encierren un peligro potencial. El problema, el reto a afrontar, consistirá en hacer que las etiquetas nos sirvan de guía en la exploración de la ciudad global y no para limitar nuestros viajes.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

RATING THE NET. Jonathan Weinberg en *Hastings Communications and Entertainment Law Journal*, vol. 19; marzo de 1997 (en prensa). Disponible en la red en http://www.msen.com/~weinberg/rating.htm

RECOMMENDER SYSTEMS. Sección especial en *Communications of the ACM*, vol. 40, n.º 3; marzo de 1997 (en prensa).

La plataforma para selección de contenidos en Internet está disponible en la red, en http://www.w3.org/PICS.

DE PASEO POR LA RED Y SIN PANTALLA

T. V. Raman

Cuando me introduzco en Internet para conocer las noticias de la televisión, leer con mayor detenimiento el último artículo de un colega o cómo van las cotizaciones de las acciones de Adobe, dejo la pantalla de mi ordenador personal apagada. Consigo así que las baterías me duren más. Y, como soy ciego, el monitor no me sirve de nada.

Que un invidente pueda moverse por Internet con la soltura y el aprovechamiento de cualquier vidente constituye una muestra del inmenso potencial que los documentos digitales encierran para mejorar la comunicación humana. Los documentos impresos son fotografías instantáneas de ideas cambiantes; limitan las posibilidades de comunicación al papel en que están almacenados. Sin embargo, cuando los documentos se materializan en un medio electrónico, constituyen material en rama del que los ordenadores pueden extraer, catalogar y reordenar las ideas que portan. Usada adecuadamente, la técnica puede separar mensaje y medio, de suerte tal que podemos acceder a la información donde, cuando y en la forma que nos plazca.

En mi caso —y en el de quien, sirviéndose de un teléfono o de un ordenador portátil, es funcionalmente ciego— resulta más fácil prestar atención a un material hablado que verlo en una pantalla. Sin embargo, la mejor solución no es disponer de un ordenador que se limite a recitar entera la página en pantalla, como acostumbran hacer los programas que existen para este propósito. Imaginemos lo que significaría leer un libro a través de una pantalla de una línea, de 40 caracteres, y en la que el texto se va sucediendo sin solución de continuidad.

Lo ideal sería que una interfaz auditiva retuviera las mejores características de su equivalente óptico. Consideremos este informe especial de *Investigación y Ciencia*. Del repaso de su índice y de una lectura por encima de las colaboraciones, se puede obtener una pronta visión de conjunto que nos permita decidir las partes en que nos gustaría detenernos con más detalle. Las cosas son así porque la información posee estructura: los contenidos están ordenados en un elenco, los títulos aparecen en tipografía destacada, etcétera. Sin embargo, la naturaleza lineal, pasiva, del proceso de escucha prohíbe este tipo de panorámicas múltiples: es imposible disponer de entrada de una idea somera del conjunto, para recalar luego en las zonas de mayor interés.

Los ordenadores pueden soslayar este inconveniente, pero necesitan cierta ayuda. Quien esté escribiendo su página virtual debe etiquetar cada bloque de texto con un código indicador de su función (título, nota al pie de página, resumen, etcétera) y no sólo su mera apariencia externa (24-puntos negrita, seis-puntos romana, sangrado, cursiva, etcétera). Los programas pueden entonces interpretar las etiquetas que marcan la estructura y presentar al lector los documentos como él quiera y no como su creador desea. Usted podría ver los títulos en letras grandes, mientras que yo lo haría de otro modo. Además, los oyentes pueden moverse con tranquilidad a través de un texto estructurado de forma selectiva, del mismo modo que se hace cuando se lee por encima una revista.



EMACSPEACK, una interfaz de voz para ordenadores de mesa desarrollada y distribuida libremente por el autor, presta soporte a un lector de la red que realiza la traducción de la estructura visual y de estilo de un documento en indicaciones de audio intuitivas, tales como tonos y voces distintivos. Un oyente al que se le lee un informe extenso a través de Emacspeack puede solicitar un vistazo general a los subtítulos e interrumpir luego el resumen para escuchar el texto completo de cualquier sección.

Afortunadamente, el lenguaje HTML, de "Hypertext Markup Language", el sistema de codificación usado para preparar texto para la red, se ideó para captar la estructura de los mensajes. Si se empleara de acuerdo con lo previsto en su origen, a la misma fuente electrónica se le podría sacar partido con todo tipo de detalles sobre una impresora, en una pantalla con resolución más baja, en el lenguaje hablado para los ciegos funcionales y en mil formas distintas que satisficieran las preferencias de los sujetos.

Mas, por presiones de las empresas, el HTML está en permanente evolución hacia páginas de la red exclusivamente visuales, imposibles de utilizar salvo que podamos percibir los gráficos de colores y cargar en nuestro ordenador la tal información visual. La fuerte tendencia actual a diseñar páginas de la red que sólo puedan percibirse con los programas más comunes y exhibidores estándar, páginas que carecen además de importante información estructural, amenaza con minar las ventajas de los documentos guardados en Internet.

Para los usuarios con necesidades especiales, el único camino eficiente para obtener cierta información es hacerlo en directo. A la postre, los documentos digitales que no pueden procesarse no sólo resultan inútiles para los ciegos, sino que representan una posibilidad malgastada. El archivo de textos en un formato de estructura potente asegura que este inmenso depósito de conocimientos puede reutilizarse, explorarse y presentarse en pantalla del modo que mejor se adapte a las necesidades y capacidades de cada sujeto, utilizando unas posibilidades de soporte lógico todavía por inventar e incluso imaginar.

T. V. RAMAN trabaja como investigador adscrito al grupo de técnicas avanzadas en Sistemas Adobe en San José, California.

UNA INTERNET POLIGLOTA

Bruno Oudet

A lo largo de los últimos años, la cultura norteamericana ha multiplicado su influencia en el resto del mundo a través del comercio internacional y las películas de Hollywood. Con la penetración creciente de Internet en los lugares más recónditos del globo, surge una cuestión obvia: ¿aumentará esa tendencia de suerte que el inglés deba usarse en todas partes? ¿Habrá, por contra, plurilingüismo que enriquezca el universo de la red? Hay quienes piensan que las demás lenguas quedarán fuera del tinglado y que imperará el inglés.

Semejante situación de predominio tendrá sus inconvenientes. La mayoría de la gente emplea el inglés como segunda lengua, pero suele ser un conocimiento rudimentario, suficiente apenas para enterarse de la predicción del tiempo e incluso ni eso. Para análisis que requieren mayor reflexión, casi todos recurrimos a nuestra propia lengua. Si Internet no admite una conversación plurilingüe, su papel vehiculador de la comunicación internacional se restringirá notablemente. Menudearán los errores y las equivocaciones; muchos usuarios quedarán marginados de las inmensas posibilidades que la comunicación internacional tiene que ofrecerles.

En la red de mañana convergerán fuerzas diversas que dejarán sentir su peso en las lenguas probablemente empleadas. En la actualidad, un 60 % de los ordenadores conectados con Internet se encuentra en los Estados Unidos. Con la salvedad de América del Norte y de ciertos países europeos, la mayor parte de las conexiones del mundo con Internet son muy recientes y circunscritas. La tendencia, sin embargo, es a que los ordenadores, doquiera se hallen, se vinculen de manera creciente. Con el constante abaratamiento de los costes de instalación de redes, la distribución de usuarios de Internet terminará por solaparse con la de los ordenadores.

Merced a su bajo coste y a su carácter de técnica de uso sencillo, Internet permite, en particular, que quienes se sirven del alfabeto latino emitan o intercambien mensajes en su propia lengua. Algunos promotores de las lenguas nacionales se han aprovechado ya de ese recurso. Por citar un ejemplo, cerca del 30 % de todas las páginas de la red presentadas en francés, provienen de Quebec, aunque los canadienses francófonos sólo representen el 5 % del total de personas de habla francesa. Pero el alcance mundial de Internet también favorece a una lengua que pueda ser comprendida, al menos superficialmente, por el mayor número de personas. Como resultado de estas dos tendencias, yo creo que Internet servirá de vehículo a muchas lenguas cuando se trate de comunicaciones locales, y al inglés, cuando se establezcan conversaciones internacionales restringidas.

Ni que decir tiene que las dificultades técnicas de comunicación en la mayoría de las lenguas del mundo no son grano de anís. Tanto las máquinas como la programación se diseñaron inicialmente para procesar textos redactados en inglés. Pero hay dificultades incluso con los caracteres latinos normales. En los primeros días de Arpanet —la precursora de Internet—, sólo podían enviarse mensajes de correo electrónico codificados con siete bits en modo ASCII. (Con este código, cada uno de los 128 caracteres se asocia a un conjunto de siete dígitos binarios.) En nuestros días el protocolo de transporte simple generalizado de correo, SMTP, permite el procesamiento de los ocho bits requeridos en comunicaciones de ISO-alfabeto latino, auspiciado y desarrollado por la Organización Internacional de Normalización (ISO). ISO-alfabeto latino admite hasta 256



EL LENGUAJE ELEGIDO podría aparecer en pantalla en este puesto de la red utilizando Unicode, método de codificación para las diversas grafías del mundo.

caracteres, de forma que los signos diacríticos (tales como la tilde del acento agudo y la del grave) de las lenguas occidentales europeas puedan representarse en pantalla. Los programas de muchos ordenadores interconectados a la red no están, sin embargo, actualizados; sucede a veces que el octavo bit se pierde y el mensaje se torna incomprensible. De los 12.000 usuarios que recibían diariamente las noticias en francés que yo les enviaba en 1995 a través de Internet, 8500 me solicitaron recibirlas en la versión codificada en ASCII de siete bits en vez de la versión latina en ISO, que no funcionaba bien.

Aunque algunos programas recientes pueden ofrecer sus resultados en diferentes escrituras, la mayoría son fundamentalmente bilingües: la programación se desenvuelve con un solo lenguaje local, japonés o inglés por ejemplo. Podría aducirse que las dificultades técnicas para presentar en pantalla otros alfabetos se resolverán con el tiempo. Unicode (ISO 10646), un esquema de codificación de caracteres de la mayoría de las escrituras, se está asentando progresivamente. Este código permite que el usuario reciba casi cualquier lenguaje del mundo (aunque no siempre se vea bien en la pantalla).

Queda largo trecho por recorrer antes de contar con una Internet políglota, en la que un autor pueda intercalar una cita griega en un texto ruso que aparezca con cabal perfección en la pantalla de un ordenador de un lector de América del Sur. Las pautas normalizadoras de programación con este tipo de prestaciones comienzan a despuntar. Sin embargo, los principales productores de programas, en su carrera por dominar el mercado, continúan produciendo nuevas versiones, sin dar oportunidad a las empresas que desarrollan productos plurilingües, por lo común de menores en medios, para mantener el paso.

En la vida real, los intérpretes ayudan a superar las barreras de la lengua. Los traductores humanos pueden también desarrollar su labor en Internet, pero dado el volumen y variedad de los intercambios que se realizan, sólo podrían desempeñar un papel limitado. Sólo una máquina traductora puede acercarnos a un mundo, quizás una utopía, en el que todos los asistentes a una conferencia virtual de las Naciones Unidas puedan usar cada uno su lengua nacional, que se traducirá simultáneamente a todas las demás.

La investigación para conseguir una traducción mecánica ha persistido a lo largo de los últimos 50 años con resultados desiguales. Los sistemas en uso, muy pocos, se encuentran sobre todo en Japón, Canadá y Europa, continente este último que carga con el mayor peso de traducción plurilingüe. Los traductores electrónicos, generalmente bilingües, requieren un refinado nivel de especialización para obtener, a fin de cuentas, unas traducciones bastante burdas, revisables por la mano del hombre.

El primer sistema disponible para uso general fue Systran, que podía traducir 14 pares de lenguas. En 1983 entró en servicio a través de la red francesa Minitel. Aplicado por la Comisión Europea, la versión actual de Systran convierte cientos de miles de páginas cada año. También ha triunfado el sistema Meteo, que traduce boletines meteorológicos canadienses del inglés al francés, y al revés. Maneja diariamente 80.000 palabras (unos 400 boletines), con sólo de tres a cinco operaciones de edición humanas cada 100 palabras.

La traducción plurilingüe sacará provecho del proceso de dos etapas que están desarrollando diversos grupos. Se empieza por un análisis exhaustivo del texto en sus partes componentes: título, párrafo, oración; si es posible el diálogo con el autor, se aclara. Luego, se traduce a una representación abstracta, intermedia, que sirve para generar las traducciones a distintas lenguas. El esfuerzo merece la pena cuando el texto debe traducirse a más de diez idiomas. La Universidad de las Naciones Unidas en Tokio ha anunciado recientemente la realización de un proyecto de colaboración de 10 años de duración para llevar a la práctica el esquema de dos etapas descrito.

Pero no habrá Internet políglota mientras no se acometa un proyecto internacional concertado. ¿Le daremos la suficiente prioridad? La respuesta no está clara. Resulta demasiado tentador dejarnos arrastrar hacia el inglés como lengua única y común.

BRUNO OUDET preside el capítulo francés de la sociedad Internet. Doctor en ciencias económicas, enseña en la Universidad Joseph Fourier de Grenoble y es investigador en el laboratorio Leibnitz del Instituto IMAG.

SISTEMAS FIABLES

Un sistema que obligue a satisfacer derechos de autor para utilizar obras de creación puede establecer vías seguras de publicación en Internet

Mark Stefik

La experiencia cotidiana en el manejo de ordenadores ha hecho creer a muchos que todo cuanto sea digital está maduro y listo para copiarlo, trátese de programas, libros digitales, periódicos, música o vídeo. Ciertos gurús de la era digital han llegado incluso a proclamar que la facilidad de la duplicación de datos anuncia el fin de los derechos de propiedad intelectual ("copyright"). La información, sostienen, "quiere ser libre". Es imposible poner coto a la difusión de información, prosigue su razonamiento; todo cuanto sea reductible a dígitos binarios podrá copiarse.

Tan radical opinión socava las bases del sueño que hizo nacer Internet: la posibilidad de acceso universal en una era digital, en la que la obra de cualquier autor estuviera a disposición de cualquiera, en todo momento y desde cualquier lugar. La impresión que muchos tienen no es, sin embargo, que la red contenga grandes obras ni resultados de investigación de importancia crucial; la opinión predominante es, en cambio, que cuanto hay en ella es de escaso valor.

El quid de la cuestión estriba en que ni los autores ni los editores pueden ganarse la vida regalando su trabajo. En nuestros días, basta pulsar unas cuantas teclas para copiar un párrafo, una revista entera, un libro o incluso la obra de toda una vida. La reproducción incontrolada ha roto el equilibrio en el contrato social entre creadores y consumidores de obras digitales, hasta el punto de que la mayoría de los autores y editores se niega a difundir bajo forma digital lo mejor de su obra.



Entre bastidores, sin embargo, la técnica está volviendo a modificar el equilibrio. Durante estos últimos años, Folio, IBM, Intertrust, NetRights, Xerox, Wave Systems y otras compañías han desarrollado programas y equipos que facultan a autores y editoriales para especificar las condiciones aplicables a las obras digitales y para controlar la forma en que éstas pueden utilizarse. Algunos juristas opinan que el cambio es tan importante que se va a otorgar a las editoriales un poder excesivo, a costa de los derechos y necesidades de consumidores y bibliotecarios.

Pero las necesidades de los consumidores pueden quedar atendidas incluso mientras se va produciendo esta transformación. Conforme sea mayor la seguridad que la técnica aporte, mayor será la calidad de las obras que lleguen a la red. Los autores de renombre estarán dispuestos a publicar directamente en ella. Aunque la información no sea gratuita, resultará más económica, al disminuir los gastos administrativos, de distribución y de impresión. Las economías conseguidas podrían redundar en bien de los consumidores.

La clave para este desplazamiento instado por la técnica se halla en los denominados sistemas fiables, esto es, equipos y programas respecto de los que se puede confiar que se atendrán a ciertas reglas. Estas reglas, llamadas derechos de uso, especifican el importe de la utilización de una obra digital y la serie de reservas y condiciones en las que tal obra puede emplearse. Un ordenador fiable, por ejemplo, se negaría a realizar copias no autorizadas o a reproducir piezas de audio o de vídeo para quienes no hayan abonado los derechos correspondientes.

Los sistemas de confianza pueden adoptar diferentes formas; por ejemplo, aparatos especiales para la lectura de libros digitales, reproductores fiables de grabaciones sonoras o videográficas, impresoras fiables que acuñen sobre las copias "sellos de agua" o filigranas, o que impriman en ellas divisas de la propiedad intelectual, amén de servidores fiables para la venta de obras digitales en Internet. Pese a la complejidad de las técnicas que hacen de fiar a un sistema, el resultado es sencillo. Las editoriales podrían distribuir sus obras —encriptadas— de modo que sólo pudiesen examinarse o imprimirse en máquinas de confianza. Al principio, los elementos de seguridad podrían quedar integrados en una impresora o en un lector de mano y entrañarían cierto coste adicional para el consumidor, porque le proporcionan la capacidad de acceder a material de mucho mayor valor. Con el tiempo, la progresiva implantación de esta técnica abarataría los costos. Desde luego, nada impediría que las editoriales pusiesen ciertas obras a disposición del público gratuitamente; un servidor de confianza podría permitir que cualquiera las trasladase a su ordenador.

MARK STEFIK ocupa un cargo directivo en el laboratorio de ciencia y técnica de la información en el Centro de Investigación de Xerox en Palo Alto (PARC). Se licenció en matemática y doctoró en informática por la Universidad de Stanford. Desde 1980 ha venido trabajando en sistemas expertos, en sistemas colaborativos y en técnicas de comercio digital.

CESION







1. LA TRANSFERENCIA DE UNA OBRA DIGITAL desde un sistema fiable se asemeja bastante a la transferencia de dinero desde una cuenta de ahorro hacia una cuenta corriente. En el símil bancario, el dinero se halla en una cuenta o en la otra. Los derechos de propiedad digital distinguen el derecho a copiar una obra digital (que aumenta el número de ejemplares) del derecho a transferirla (que preserva el número de ejemplares). Por lo común, el

¿Cómo sabe un sistema de confianza a qué reglas atenerse? En Xerox y en otras entidades, los investigadores se han propuesto expresar en lenguaje formal, de interpretación inequívoca por los sistemas de confianza, las tarifas y condiciones asociadas a una obra concreta. La descripción formalizada de los derechos de uso es crucial para el comercio electrónico: es necesario que la variedad de cosas que se pueden o no se pueden hacer se declaren explícitamente, de manera que compradores y vendedores puedan negociar y llegar a acuerdos. Los derechos de utilización digital pueden clasificarse en varias categorías naturales. Los derechos de "transporte" se ocupan del permiso para copiar, transferir o alquilar. Los derechos de "entrega" permiten la reproducción e impresión. Los derechos de "obra derivada" se refieren a la posibilidad de extraer y modificar información e incluirla en otras publicaciones. Otros derechos regulan la creación y reinstalación de las copias de seguridad.

Funcionamiento de los sistemas de confianza

Cada tipo de creación intelectual requiere sus propias garantías de seguridad. Pero los sistemas de confianza permiten, a quienes publican, especificar el nivel de seguridad requerido para la salvaguardia de un documento o un vídeo. Las propiedades digitales más valiosas podrían quedar protegidas mediante sistemas que detectasen cualquier manipulación, disparasen alarmas y borrasen la información que contienen. En un nivel intermedio, un sistema de confianza podría bloquear ataques no expertos mediante un sencillo sistema de seña y contraseña. Y en un nivel de seguridad inferior, el sistema no presentaría demasiados obstáculos contra los infractores, pero grabaría sellos o marcas en las obras digitales, haciendo localizables sus fuentes (tales "sellos de agua" digitales se encuentran inclusos en determinados programas de tratamiento de imágenes).

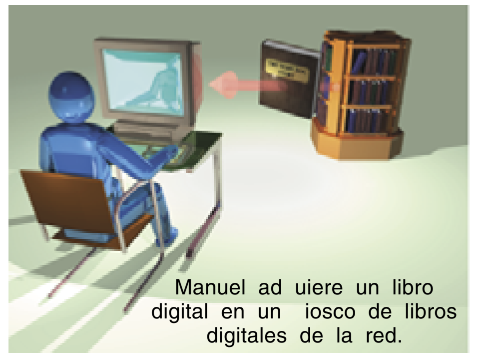
La mayoría de los ordenadores de confianza están capacitados para reconocer a otro sistema de confianza, para exigir los derechos de utilización y para mostrar las obras de forma que, o bien no puedan copiarse exactamente o bien porten consigo una signatura de su origen. Para llevar a cabo una transacción de elevada seguridad, dos sistemas de confianza intercambian datos mediante un canal, como Internet, proporcionando garantías sobre sus auténticas identidades. La gestión de las comunicaciones por un canal seguro puede lograrse mediante encriptación y con los protocolos denominados "problema y respuesta".

Tendríamos un ejemplo de aplicación de tal protocolo si el ordenador A desease comunicar con el ordenador B. El ordenador A tiene que



2. EL "PRUEBE PRIMERO, COMPRE DESPUES", sistema de ventas típico de las tiendas de música, podría acabar por imponerse gracias a sistemas de confianza que permiten examinar muestras y efectuar compras a través de Internet.

PRESTAMO



Manuel ad uiere un libro digital en un iosco de libros digitales de la red.



Manuel le presta el libro a Ram n el libro desaparece del ordenador de Manuel.



Aun ue Ram n se olvida de devolver el libro, ste desaparece de su m uina reaparece en el ordenador de Manuel.

copiado de una obra entraña una tarifa, mientras que su cesión o transferencia no la requieren. El préstamo de obras digitales constituye una transacción distinta de la copia y la transferencia. El proceso en este caso es análogo al de tomar un libro en préstamo, en el sentido de que concede la utilización temporal de la obra a una segunda persona, mientras que el poseedor de la obra no puede utilizarla mientras dura el préstamo.

demostrar al B que constituye un sistema fiable y que es quien dice ser. La interacción comienza cuando A le envía a B un certificado digital confirmando que su nombre figura en un registro de sistemas de confianza. Entonces B descifra el certificado. Esta acción confirma la autenticidad del certificado. Pero, dado que un certificado puede ser objeto de copia, ¿cómo sabe B que realmente se encuentra en comunicación con A? Para verificar la identidad de A, B compone una secuencia de números aleatorios, a la que llamaremos "envite". Encripta después el envite con una clave de uso público enviada por A juntamente con la certificación digital. La clave pública permite que B envíe mensajes que sólo A podrá comprender cuando los descifre con su propia clave secreta.

B manda el envite a A, quien lo descifra y devuelve un mensaje llano a B que contiene los números del envite. Si el mensaje de retorno coincide con el primero de los enviados, B sabe que está realmente comunicándose con A, porque sólo A podría haber descifrado el mensaje con su propia clave secreta. En unos pocos pasos más, los dos ordenadores pueden estar preparados para transferir un libro o efectuar cualquier otra transacción.

Aunque no todos los sistemas de confianza se valgan de protocolos "problema-respuesta", la mayoría sí recurre a la encriptación para el intercambio de obras digitales. Podrían incorporar también otros elementos de seguridad. Algunos sistemas contienen relojes no manipulables para impedir que los usuarios sigan utilizando derechos expirados. Otros disponen de memorias seguras donde registrar las operaciones de facturación. Otros, aún, pueden estar conectados directamente a entidades financieras durante las transacciones.

Los sistemas fiables pueden acuñar marcas de identificación que les permitan seguir la pista a duplicaciones o modificaciones no autorizadas. Tales sellos llevan un registro de cada obra, el nombre del comprador y un código correspondiente a los dispositivos en que se están reproduciendo. Esta información puede encontrarse oculta; por ejemplo, en los espacios en blanco y en los matices de gris de una imagen de texto. En cuanto tal, la información identificadora les resultaría prácticamente invisible a los consumidores legítimos, e imposible de eliminar a los hipotéticos infractores.

Autores y editoriales todavía tendrían que estar atentos a la distribución no autorizada de su propiedad. El usuario de un ordenador puede siempre imprimir una página digital y fotocopiarla después. El pirata de una película digital puede sentarse frente a la pantalla con una videocámara. Lo que los sistemas de confianza impiden, sin embargo, es el copiado y distribución al por mayor de originales digitales perfectos. Mediante sellos y acuñaciones apropiadas hasta las copias pirateadas podrían seguir siendo rastreables.

En la edición digital, los sistemas fiables permitirían que el comercio se desarrollase de forma no muy diferente de como se efectúa la distribución de ejemplares en papel. Supongamos que Manuel desea adquirir un libro digital en la red. El copiado del libro inicia una transacción entre el sistema del vendedor y el ordenador de Manuel. Al final de la transacción, Manuel utiliza una tarjeta de crédito o dinero electrónico para adquirir un ejemplar de un libro, legible mediante un ordenador o algún otro equipo digital idóneo. Toda la transacción, sin embargo, va precedida por un intercambio de información en el cual el vendedor se cerciora de que la máquina de Manuel es un sistema de confianza.

Ejercicio de los derechos de uso

Lo mismo que si el libro fuera de papel, Manuel puede regalar su ejemplar digital. Si Andrés, amigo de Manuel, se lo pide, Manuel puede ejercer el derecho de libre transferencia. Al finalizar la transacción, el libro reside en el equipo de lectura de Andrés y no en el de Manuel. Andrés puede entonces leer el libro, no así Manuel. La cesión preserva el número de ejemplares. Sus respectivos ordenadores, por lectura e interpretación de los derechos adjuntos al fichero que contiene el libro, efectúan la transferencia de este modo, y ni Andrés ni Manuel pueden ordenar nada distinto.

Manuel puede también prestar el libro a un amigo. Si Ramón quiere pedir un libro prestado durante una semana, Manuel puede transferirlo hasta su ordenador, pero mientras el libro digital está en préstamo, Manuel no puede utilizarlo. Al cabo de una semana, el sistema de Ramón desactiva su ejemplar y el de Manuel vuelve a marcarlo como utilizable. Sin acción alguna por parte de ninguno, el libro digital se ha "devuelto" a su propietario. El derecho de préstamo

```
(Obra:  (Derechos-Idioma-Versión: 1.06)
        (Descripción: "Título 'Bib Siniva - Cuentos para soñar'
                Copyright 1994  Bib Siniva")
        (ID obra: "Registro-Ediciones-1kjdf98734")
        (Propietario: (Certificado:
                        (Entidad: "Unión Editorial")
                        (ID: "Ediciones Siniva")))
(Derechos-Grupo: "Normal"
(Lote:
                (Tarifa:   (A: "123456789")  (Entidad: "Visa"))
                (Acceso: (Seguridad-Nivel: 2)) )
(Copia: (Tarifa:  (Por-uso: 5)))
(Transferencia: )
(Ejecutar: )
(Imprimir:
        (Tarifa: Por-uso: 10))
                (Impresora:
                        (Certificado:
                                (Entidad: "DPT"
                                (Tipo: "ImpresoraConfianza-6")))
        (Sello:
                (Texto-Sello: "Título: 'Bib Siniva - Cuentos para soñar'
                                Copyright 1994 por Bib Siniva.
                                Reservados todos los derechos.")
                (Contenido-Sello: id-usuario institución-dirección
                                entrega-nombre entrega-lugar
                                entrega-tiempo) )))
```

Identificación de la obra Bib Siniva (Cuentos para soñar). Publicada por Ediciones Siniva.

Derechos por copia, transferencia, reproducción e impresión; estos derechos estipulan los niveles de seguridad, las tarifas y el procedimiento de pago.

Información para seguir la pista a una obra digital

3. LOS DERECHOS DE USO, a saber, los términos y condiciones para utilizar un libro digital aquí llamado *Bib Siniva* (Cuentos para soñar), se redactan en lenguaje interpretable por máquinas.

es fundamental para que lleguen a establecerse bibliotecas digitales.

Los derechos de utilización pueden adaptarse a la medida para la lectura de una obra, para imprimirla o para la creación de obras derivadas. Dependiendo del autor y de la editorial, ciertos derechos pudieran o no comportar una tarifa. Para determinadas obras, el copiado sería gratuito, pero su visión requeriría un pago. Las tarifas podrían cargarse por cada utilización o por horas; podrían facturarse cuando el usuario obtuviese la obra o en las ocasiones en que ejercitara un derecho. Pudiera haber descuentos, ventas y cesiones temporales gratuitas. La distribución podría quedar restringida a personas que certifiquen su pertenencia a un círculo de lectores, a cierto grupo de edad o a los ciudadanos de un país particular.

Los sistemas de confianza podrían también respetar el tipo de previsiones de uso de buena fe que se aplican a las bibliotecas y a determinadas instituciones, permitiendo que se utilice un número razonable de ejemplares o se haga cierto número de citas. Los individuos con necesidades especiales —bibliotecarios, investigadores y docentes— podrían recibir licencias de una organización representativa de las editoriales que les permitiera realizar cierto número de copias gratuitas o con descuento, si se tiene la debida comprensión y respeto por los derechos de autor. Para compensar los riesgos de copia ilegal se podría establecer un fondo de garantía de protección frente a las pérdidas.

¿Qué ganan los consumidores en todo esto? ¿Por qué habrían de dar la bienvenida a un sistema en el cual no tienen control completo sobre los equipos y los datos que están en su posesión? ¿Por qué pagar, cuando podrían lograr cosas gratis? Porque a menos que se respeten y se hagan cumplir los derechos de propiedad intelectual, serán muchos los objetos deseables que jamás estarán digitalmente disponibles, ni gratis ni a ningún precio. Los sistemas de confianza tratan de remediar la falta de control en el "gratis para todos" de Internet. Hacen posible no sólo que bibliotecas enteras sean directamente accesibles, sino también que las librerías, puestos de revistas, cines, tiendas de discos y otros negocios que se ocupan de información digital hagan accesibles sus productos. Dan incentivos para acceso las 24 horas al día a obras literarias, videográficas o musicales, con entrega inmediata en cualquier parte del mundo. En algunos casos, este método técnico de proteger a los autores y editoriales podría incluso evitar la necesidad de regulaciones estrictas que terminarían por asfixiar la publicación digital.

Para que esta visión cobre realidad plena harán falta desarrollos tanto de índole técnica como mercadotécnica. Los usuarios necesitarán disponer regularmente de comunicaciones de mayor capacidad. Las editoriales tienen que instaurar medidas que garanticen la intimidad de los consumidores que utilicen sistemas de confianza, aunque la misma técnica que protege los derechos de propiedad intelectual podría proteger los datos personales de los consumidores. Los sistemas fiables presumen, asimismo, que serán las ventas directas, y no la publicidad, las que cubran los gastos de distribución de las obras digitales. Con toda probabilidad, la publicidad prevalecerá solamente en el caso de obras de gran atractivo para públicos mayoritarios. Al proteger los derechos de los autores, estos sistemas posibilitarán el florecimiento de publicaciones especializadas: comparemos, por ejemplo, la diversidad de libros de una biblioteca con la oferta, bastante limitada, de los programas de televisión.

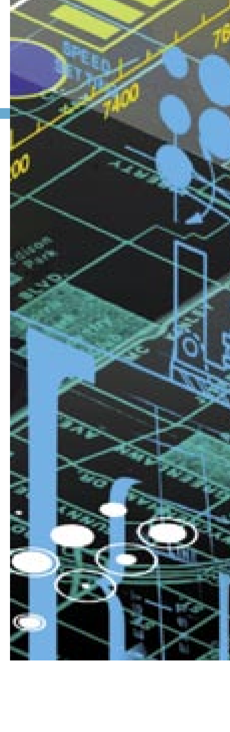
La dinámica de un mercado competitivo constituye el obstáculo más importante para establecer protecciones de los derechos digitales. Varias compañías se encuentran en las primeras fases de ensayo de programas y sistemas fiables. Con algunas excepciones, sin embargo, los programas son de propiedad particular e incompatibles entre sí. Mientras que la técnica podría proporcionar la infraestructura para el comercio digital, los mayores beneficios sólo se obtendrán si todos los participantes, desde los compradores y vendedores hasta los bibliotecarios y los legisladores, trabajan conjuntamente.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

LEGALLY SPEAKING; REGULATION OF TECHNOLOGIES TO PROTECT COPYRIGHTED WORKS. Pamela Samuelson en *Communications of the ACM*, volumen 39, número 7, páginas 17-22; julio de 1966.

FORUM ON TECHNOLOGY-BASED INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT: ELECTRONIC COMMERCE FOR CONTENT. Recopilación de Brian Kahin y Kate Arms. Número especial de *Interactive Multimedia News*, volumen 2; agosto de 1996.

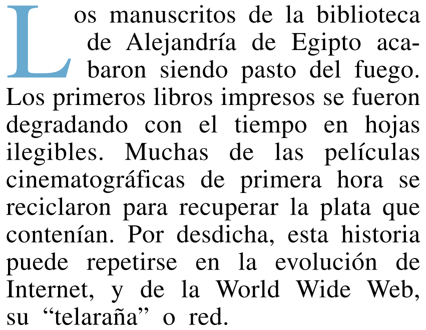
LETTING LOOSE THE LIGHT: IGNITING COMMERCE IN ELECTRONIC PUBLICATION. Mark Stefik en *Internet Dreams: Archetypes, Myths, and Metaphors*. Recopilación de Mark Stefik. MIT Press, 1996.



CONSERVACION DE INTERNET

Archivar el contenido de Internet podría convertirse en recurso de vital importancia para historiadores, empresas y gobiernos

Brewster Kahle



Los manuscritos de la biblioteca de Alejandría de Egipto acabaron siendo pasto del fuego. Los primeros libros impresos se fueron degradando con el tiempo en hojas ilegibles. Muchas de las películas cinematográficas de primera hora se reciclaron para recuperar la plata que contenían. Por desdicha, esta historia puede repetirse en la evolución de Internet, y de la World Wide Web, su "telaraña" o red.

Nadie, hasta ahora, ha tratado de construir un registro suficientemente completo de los textos e imágenes que aparecen en la red. La historia de la imprenta y de la cinematografía está protagonizada por la pérdida y la reconstrucción parcial. No es forzoso que este supuesto haya de repetirse en el caso de la red, que en su evolución ha ido adquiriendo cada vez más un carácter de almacén de valiosas informaciones científicas, culturales e históricas.

La caída constante de los costes del almacenamiento digital consiente que un pequeño grupo de profesionales técnicos, equipados con un modesto complemento de ordenadores y de equipos de almacenamiento digital de datos, tenga a su alcance la preservación de un registro permanente de la red y del resto de Internet. Hace un año que algunas personas, entre ellas el autor, se propusieron convertir en realidad este sueño, para lo que crearon la empresa denominada Internet Archive.

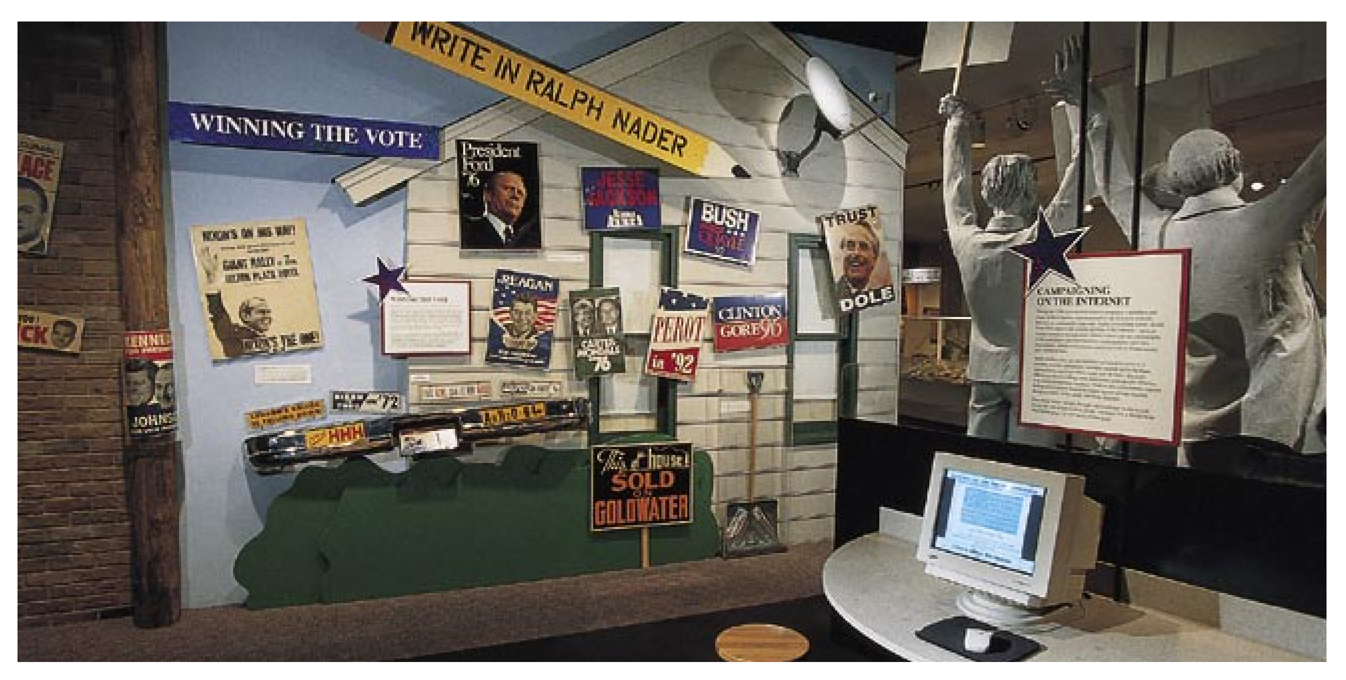
Cuando el lector tenga este artículo en sus manos, habremos tomado una instantánea de todas las partes de la red que son de acceso libre y técnicamente posible para nosotros. Esta colección de datos medirá no menos de dos billones de octetos (dos teraoctetos) de datos, compuestos por textos y grabaciones sonoras y videográficas. A título de referencia, la Biblioteca del Congreso estadounidense contiene alrededor de 20 teraoctetos de informaciones en texto. En los meses venideros, nuestros ordenadores y demás medios de almacenamiento confeccionarán registros de otras áreas de Internet; entre ellas, el sistema de información Gopher y los boletines de Usenet. El material recogido hasta ahora ha demostrado ya que es un útil recurso para los historiadores. Tal vez proporcione en el futuro la materia prima para una biblioteca cuidadosamente indiciada donde efectuar búsquedas.

Los programas de nuestros ordenadores van "reptando" por la red. Se traen documentos, llamados "páginas", de los puestos que van visitando sucesivamente. Una vez capturada una página, los programas buscan las referencias cruzadas ("enlaces" o "links") con otras páginas. Se valen de los "hiperenlaces" de la red (que son direcciones de nodos integradas en las páginas de los documentos) para encaminarse a otras páginas. Los programas vuelven a hacer copias y a buscar los nuevos enlaces que contengan las nuevas páginas. El "reptador" o "arácnido" evita la duplicación de copias cotejando los nombres identificadores (URL, sigla de "localizadores uniformes de recursos") con los que figuran en una base de datos. Otros programas de desplazamiento por la red, como el AltaVista de Digital Equipment Corporation, se valen también de "arácnidos" para la indización de los puestos de la red.

Este proyecto ha sido posible gracias al abaratamiento continuado de los costos del almacenamiento de datos. El precio de un gigaocteto (mil millones de octetos) en discos rígidos es de unos 200 dólares, mientras que el almacenamiento en cinta magnética, utilizando equipos automáticos, es de unos 20 dólares por gigaocteto. Hemos optado por el almacenamiento en disco rígido para conservar un pequeño volumen de datos que es probable que sean solicitados con frecuencia por los usuarios del archivo, mientras que la información menos requerida se maneja mediante un dispositivo robotizado capaz de montar y leer las cintas automáticamente. El mecanismo del disco accede a los datos en unos 15 milisegundos por término medio, mientras que la cinta necesita cuatro minutos. Entre la información de acceso frecuente podrían contarse documentos históricos o un conjunto de URL fuera de uso.

Los textos, gráficos y registros sonoros recogidos de la red jamás serán exhaustivos, porque los programas arácnidos no pueden tener acceso a muchos de los centenares de miles de puestos que hay en ella. Autores y editoriales restringen el acceso o almacenan sus documentos en formatos inaccesibles a los programas reptadores sencillos. Empero, aunque el archivo no constituya una recopilación com-

BREWSTER KAHLE fundó Internet Archive en abril de 1996. Inventó en 1989 el sistema WAIS (Wide Area Information Servers) y en 1992 creó una compañía, WAIS, Inc., para comercializar los correspondientes programas de publicación en Internet.



INTERNET ARCHIVE ha suministrado al Museo Nacional de Historia Americana de la Institución Smithsoniana una colección de puestos de la red (WWW) dedicados a las elecciones presidenciales de 1996.

pleta, sí mostrará una impresión del aspecto que ofrece la red durante un período dado.

Una vez recogido y almacenado el contenido de acceso público de Internet, ¿qué servicios facilitará el archivo? Poseemos capacidad para suministrar documentos que ya no estén disponibles por el emisor original, una función importante si se pretende que el sistema de hipertexto de la red se convierta en un medio de publicación culta. Un servicio así podría resultar útil para la investigación comercial. Y los datos archivados podrían servir de "copia simple" para la Administración. De este modo, con el paso del tiempo, el archivo acabaría asimilándose a una biblioteca digital.

Los historiadores ya han encontrado útil este material. David Allison, de la Institución Smithsoniana, ha recurrido al archivo para crear en su museo una exposición de puestos de la red dedicados a la elección presidencial, proyecto que equipara al de la conservación de cintas de vídeo de los primeros anuncios televisivos de la campaña. Muchos de los enlaces correspondientes a estos puestos, como los de la campaña de Phil Gramm, senador por Texas, han desaparecido ya de Internet.

En la creación de un archivo inciden multitud de problemas, desde los de respeto a la intimidad hasta los de propiedad intelectual. ¿Qué sucede si una estudiante universitaria publica en la red una página con fotografías de su actual novio? ¿Y si después quisiera "romperlas", por así decirlo, pero éstas siguieran viviendo en el archivo? ¿Tendría derecho a que fueran eliminadas? En contraposición, ¿tendría derecho un personaje público, un senador, por ejemplo, a borrar datos que difundió por el correo electrónico en sus años de juventud? ¿Va la recopilación de datos públicamente accesibles contra "el buen fin" que estipula la legislación sobre derechos de propiedad intelectual? Se trata de cuestiones de no fácil solución.

Para tener en cuenta estas consideraciones, permitimos a los autores que supriman, si quieren, sus obras del archivo. También estamos pensando en limitar la consulta de censos amplios de datos del archivo, en vez de documentos individuales; por ejemplo, se podría contar el número total de referencias sobre paquidermos que hay en la red, pero no el examen de una página de acceso concreta sobre elefantes. Confiamos en que estas medidas sean suficientes para aliviar las preocupaciones inmediatas sobre respeto a la intimidad y sobre derechos de propiedad intelectual. Con el tiempo, los problemas que se van planteando al establecer el archivo de Internet podrían contribuir a la resolución de los debates de mayor calado sobre respeto a la intimidad y propiedad intelectual, poniendo a prueba nociones como la de uso de buena fe en Internet.

El Internet Archive es complemento de otros proyectos encaminados a garantizar la longevidad de la información contenida en Internet. En Washington, la Comisión de Preservación y Acceso investiga cómo garantizar la conservación de los datos conforme van cambiando con los años los formatos normalizados para medios de almacenamiento digital. En otra dirección, la Internet Engineering Task Force y otros grupos han trabajado sobre estándares técnicos que proporcionen nombres de identificación unívocos a los documentos digitales. Estos "nombres uniformes de recursos" (URN), como se ha dado en llamarlos, podrían complementar a los URL (los enclaves o puestos) que en la actualidad dan acceso a los documentos de la red. La asignación de URN a un documento trata de asegurar que será posible seguirle la pista tras la desaparición de un enlace, porque, según las estimaciones, la vida media de un URL es de 44 días. El URN serviría para localizar otros enclaves que todavía proporcionasen acceso a los documentos deseados.

La subida de los mares

Aunque algunos hablan del riesgo de calentamiento global que producirá la fusión de los hielos polares, inundando las costas bajas de la Tierra, la amenaza real sigue siendo difícil de justipreciar

David Schneider

Muchas personas se despertaron al oír las sirenas de alarma de incursión aérea. Otros se sobresaltaron ante el tañido extemporáneo de las campanas de las iglesias. Algunos probablemente percibieron sólo un rumor lejano, precursor del alba, y se volvieron a dormir. Pero antes del final de aquel día —el 1 de febrero de 1953— más de un millón de holandeses sabrían por quién y por qué doblaban las campanas. Mediada la noche, una mortífera combinación de vientos y mareas había elevado el nivel del mar del Norte hasta el borde de los diques protectores de Holanda y el océano avanzaba tierra adentro.

Mientras los habitantes de los pueblos cercanos dormían, el agua se desbordó sobre los diques, socavando los contrafuertes. El mar abrió brecha en el malecón y el agua penetró tierra adentro, hasta 64 kilómetros de la línea de costa. Más de 200.000 hectáreas de campos de cultivo quedaron anegadas, murieron unas 200 personas y unas 100.000 perdieron su casa. Una sexta parte de Holanda apareció inundada.

Con la memoria de la catástrofe todavía grabada en la mente de las gentes, no es de extrañar que los responsables gubernamentales de los Países Bajos mostraran un vivo interés cuando, un cuarto de siglo más tarde, los científicos empezaron a vincular el calentamiento global con la subida, en varios metros, del nivel del mar. Este ascenso podría llegar por varios caminos, todos ligados al calentamiento de la superficie de la Tierra; la mayoría de los expertos consideraban ese calentamiento una inevitable consecuencia de la creciente emisión atmosférica de dióxido de carbono y otros gases "de invernadero", capaces de aprisionar el calor.

En primer lugar, el calentamiento de la atmósfera resultante del efecto de invernadero terminaría por inducir un aumento de la temperatura de los océanos. Ahora bien, el agua del mar, igual que la mayoría de las substancias, se dilata al calentarse; por ello, podría bastar la dilatación térmica del océano para elevar el nivel del mar en unos 30 centímetros o más en los próximos 100 años.

Un segundo motivo de preocupación tiene que ver con lo observado en muchos valles alpinos. A lo largo del último siglo, si no desde antes, los glaciares de montaña se han venido contrayendo; su agua, que alimenta arroyos y ríos, ha ido a engrosar el mar. Tales aguas de fusión del hielo pueden haber incrementado el océano en hasta cinco centímetros en los últimos 100 años; con toda probabilidad, semejante aflujo continuo elevará el nivel del mar más rápidamente en el futuro.

Pero es la tercera amenaza la que ha traído la preocupación más honda a holandeses y otros habitantes de tierras bajas. Hace más de 30 años, algunos científicos empezaron a pronosticar que el calentamiento global podría provocar la fusión de la reserva helada de la Antártida, muy inestable, conduciendo a una calamitosa subida del nivel del mar: tal vez hasta de cinco o seis metros.

Pese a todo, no es problema de fácil solución predecir la forma exacta en que el nivel del mar se alterará en respuesta al calentamiento global. Ni siquiera resulta clara la vinculación entre un fenómeno y otro. Expertos procedentes de campos dispares se han aplicado a la búsqueda de información desde múltiples enfoques experimentales: de la perforación del casquete de hielo antártico a la detección en el espacio de la reflexión del radar por el océano. Gracias a esas investigaciones, conocemos mejor las oscilaciones del nivel del mar en el pasado y su variación en el presente. Así, la mayoría coincide en que el nivel del mar se ha ido elevando paulatinamente, a razón de dos milímetros por año, durante al menos los últimos decenios. Pero la respuesta a la pregunta clave sigue en el alero: ¿conduciría un clima más cálido a una brusca aceleración en la velocidad de ascenso del nivel del mar?

Dudas antárticas

Uno de los primeros geólogos en manifestar la preocupación de que el calentamiento global desencadenara un desplome catastrófico del casquete de hielo antártico fue J. H. Mercer, de la Universidad estatal de Ohio. La espesa plataforma de hielo que cubre gran parte de la Antártida Occidental descansa sobre un lecho rocoso muy por debajo del nivel del mar. Estudiándola, Mercer explicó en su artículo de 1978 "West Antarctic Ice Sheet and CO_2 Greenhouse Effect: A Threat of Disaster" ("La plataforma de hielo de la Antártida Occidental y el efecto de invernadero del CO_2: una amenaza de desastre") que esta "plataforma marina de hielo" era, por su propia naturaleza, inestable. Si el efecto de invernadero llegase a calentar la región polar austral en sólo cinco grados Celsius, las plataformas de hielos flotantes que rodean la capa de hielo de la Antártida Occidental comenzarían a desaparecer. Desprovista de esos contrafuertes, esta capa de hielos terrestres —vestigio de la última glaciación— se desintegraría muy pronto, inundando en el proceso las costas bajas del planeta.

Aunque el marco en que se movía el desastre inferido por Mercer era en buena medida teórico, éste ofrecía algunas pruebas de que la capa de hielo de la Antártida Occidental pudo realmente haberse fundido ya con anterioridad al menos una vez. Hace entre 110.000 y 130.000 años, cuando los últimos antepasados comunes de los humanos se dispersaron proba-

blemente desde Africa hasta Asia y Europa, la Tierra experimentó una historia climática de sorprendente semejanza con lo que parece haber sucedido a lo largo de los últimos 20.000 años, en que se calentó de una forma brusca desde los postreros fríos de una gran glaciación.

Ese antiguo calentamiento pudo haber producido condiciones un poco más suaves que las actuales. El archivo geológico de esa época (la fase interglacial 5e) resulta bastante turbio, pero muchos geólogos creen que el nivel del mar alcanzó unos cinco metros por encima del presente, cabalmente la masa adicional que proporcionaría la fusión de la capa de hielo de la Antártida Occidental. Si tal desplome se hubiera producido en la Antártida durante una fase ligeramente más cálida del pasado, razonaron algunos, la actual tendencia al calentamiento podría presagiar una repetición de la jugada.

Tal posibilidad espoleó a un grupo de expertos a organizar un programa coordinado de investigación en 1990. Lo bautizaron con el título de "SeaRISE" (de "Sea-level Response to Ice Sheet Evolution", o "Respuesta del nivel del mar a la evolución de las capas de hielo"). En el informe de su primera reunión de trabajo se advertían ciertos signos ominosos en el continente más austral del mundo; entre ellos, la presencia de cinco "torrentes de hielo" en plena actividad que extraían hielo del interior de la Antártida Occidental para depositarlo en el inmediato mar de Ross. Tales canales abiertos en la capa gélida de la Antártida Occidental, por donde los hielos fluyen hacia el océano, "pueden ser, afirmaban, manifestaciones de un desplome ya en marcha".

Pero la investigación posterior puso sordina a las amenazas castastrofistas de esos años. A comienzos de los noventa, estuvieron de moda los modelos de circulación global: unos programas informáticos, muy complejos, para predecir el clima futuro calculando el comportamiento de la atmósfera y el océano. Y se aplicaron al estudio de la posible incidencia de un clima más cálido en el casquete de hielo antártico. De tales investigaciones se desprendía que el calentamiento de invernadero llevaría a la Antártida aire más cálido y húmedo, que depositaría allí su humedad en forma de nieve. Podría, pues, incrementarse incluso la cuantía de hielo marino que rodea el continente.

Dicho de otro modo, justamente cuando los expertos del SeaRISE

estaban preparando su campaña para seguir la presumible fusión de la plataforma helada de la Antártida Occidental, los modelos informáticos mostraban la posibilidad de que dicha capa creciera, con el consiguiente descenso del nivel del mar: los hielos continentales retendrían el agua robada al mar. "Fue como dejar su velero sin viento", bromea Richard G. Fairbanks, del Observatorio Geológico Lamont-Doherty de la Universidad de Columbia.

Otras observaciones han obligado a cuestionar también la idea de que una fusión brusca de los hielos de la Antártida conllevara la subida del nivel del mar varios metros, en un futuro previsible. Los geólogos acaban de comprobar que, de las cinco grandes corrientes de hielo que alimentan el mar de Ross (designadas, con notoria falta de imaginación, corrientes de hielo A, B, C, D y E), no todas arrojan su contenido al océano. Una de las mayores, la C, cesó de operar hace unos 130 años, quizá porque perdió lubricación en su base.

La verdad es que la vinculación del calentamiento climático con el movimiento de las corrientes de hielo de la Antártida Occidental se ha hecho cada vez más tenue. Según Ellen Mosley-Thomson, del Centro de Investigación Polar Byrd de la Universidad estatal de Ohio, las corrientes de hielo "parecen arrancar y detenerse, sin que nadie sepa la razón". Es más, de acuerdo con sus propias mediciones de la velocidad de acumulación de nieve en la vecindad del polo Sur, las nevadas han aumentado bastante en los últimos decenios, intervalo a lo largo del cual la temperatura global ha ascendido poco a poco; las observaciones realizadas en otros lugares de la Antártida han producido resultados similares.

Cierto es que las zonas de la Antártida sometidas a tan estricto seguimiento son pocas y alejadas entre sí, como subraya Mosley-Thompson. Aunque muchos expertos reconocen que la actividad humana ha contribuido al calentamiento global, nadie puede decir con certeza si el casquete antártico se está contrayendo o extendiendo en respuesta.

Tamaña perplejidad podría desaparecer en sólo unos pocos años si la suerte acompaña a la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) en sus planes de lanzamiento

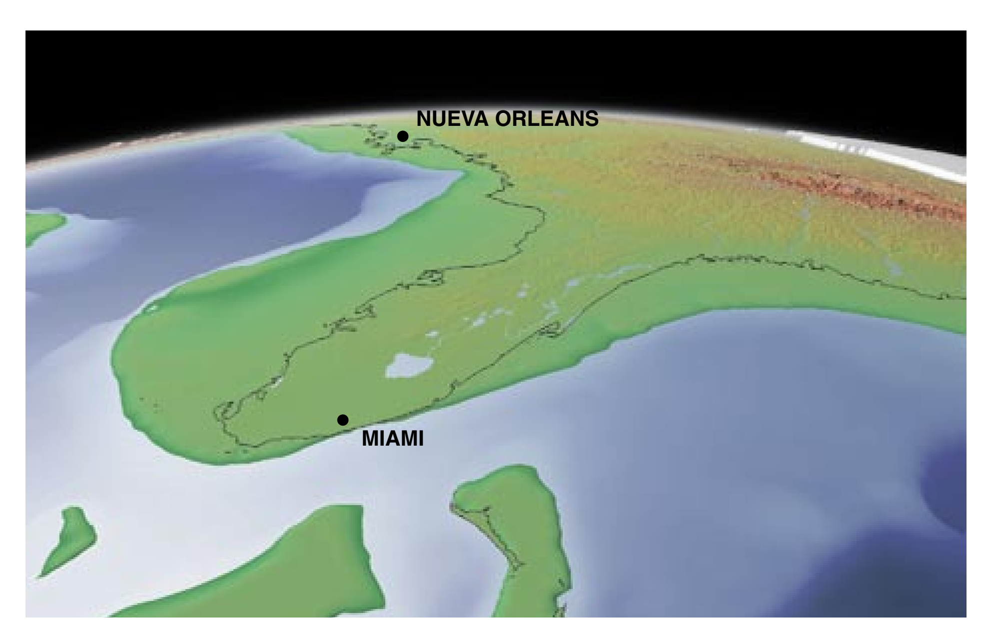


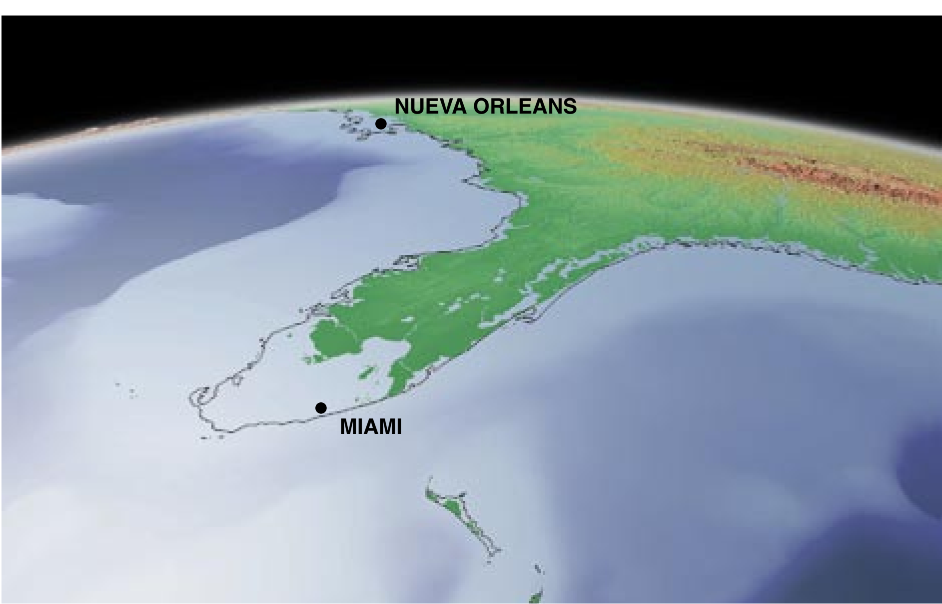
1. DIQUES MARINOS que protegen del océano las tierras bajas de Holanda, situadas en muchos puntos por debajo del nivel del mar. El gobierno neerlandés debe velar por el mantenimiento de cientos de kilómetros de diques y otras estructuras de control de inundaciones en la costa y a lo largo de las riberas de los ríos.

de un satélite ideado para cartografiar con finura los cambios de altura de los casquetes polares; esa exactitud alcanzaría el centímetro por año. A bordo del satélite, que se proyecta poner en órbita en el 2002, iría un dispositivo láser de medición de distancias, capaz de detectar ligeros cambios en el volumen total de nieve y hielo almacenado en los polos. (Un instrumento láser similar viaja ahora camino de Marte, para cartografiar los cambios en los frígidos casquetes de hielo de ese planeta mucho antes de que podamos realizar esa misma operación con la Tierra.) Habrá que esperar, pues, a los primeros años del siglo que viene para saber si el casquete antártico en su conjunto está alimentando el mar o está reteniendo agua de éste.

Antes, sin embargo, podremos obtener nuevas pruebas de la estabilidad de la vasta plataforma helada de la Antártida Occidental. Hay previstas perforaciones profundas en la cresta de hielo situada entre dos de las corrientes de hielo. Los expertos, congregados en torno al programa WAIS (West Antarctic Ice Sheet, o capa de hielo de la Antártida Occidental), esperan recuperar hielo, si lo hubo, que date del intervalo 5e de hace 120.000 años, excepcionalmente cálido. El hallazgo de muestras de hielo antiguo de la Antártida Occidental permitiría, en palabras de Mosley-Thompson, "confiar más en su estabilidad".

Pero hasta que no se ejecuten esos proyectos, sólo nos queda esbozar conjeturas ponderadas sobre si los casquetes de hielo polares se están contrayendo o extendiendo. Los expertos del Comité Intergubernamental del Cambio Climático, organismo establecido en 1988 por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas, parten de la hipótesis de que el casquete de hielo antártico y el de Groenlandia, de menor extensión, mantienen constante su tamaño (aunque admiten la posibilidad de importantes errores en su estima, reconociendo que, a la postre, ignoran si deben esperar un crecimiento o una reducción).



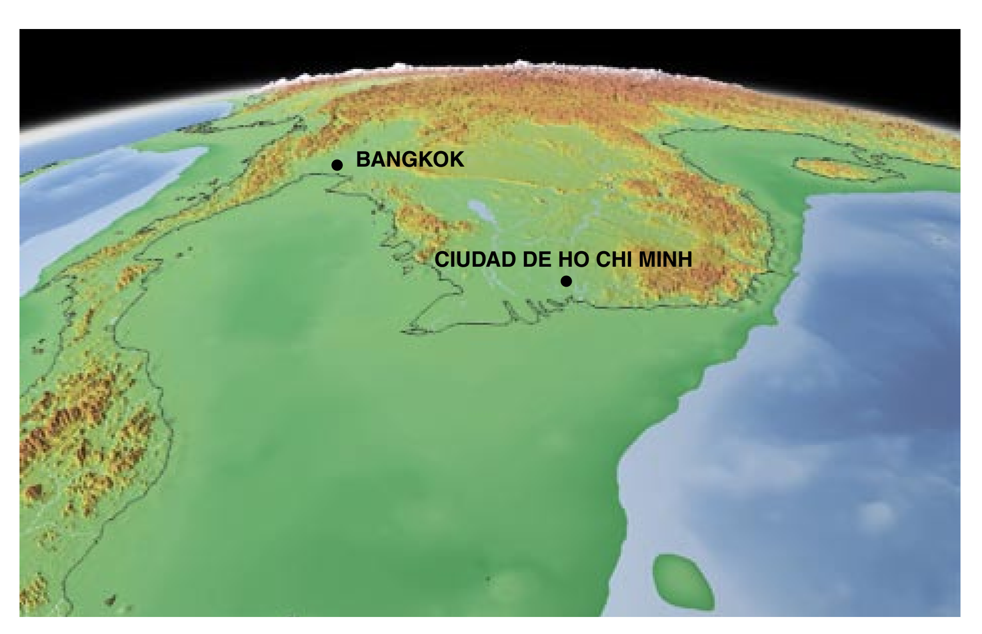


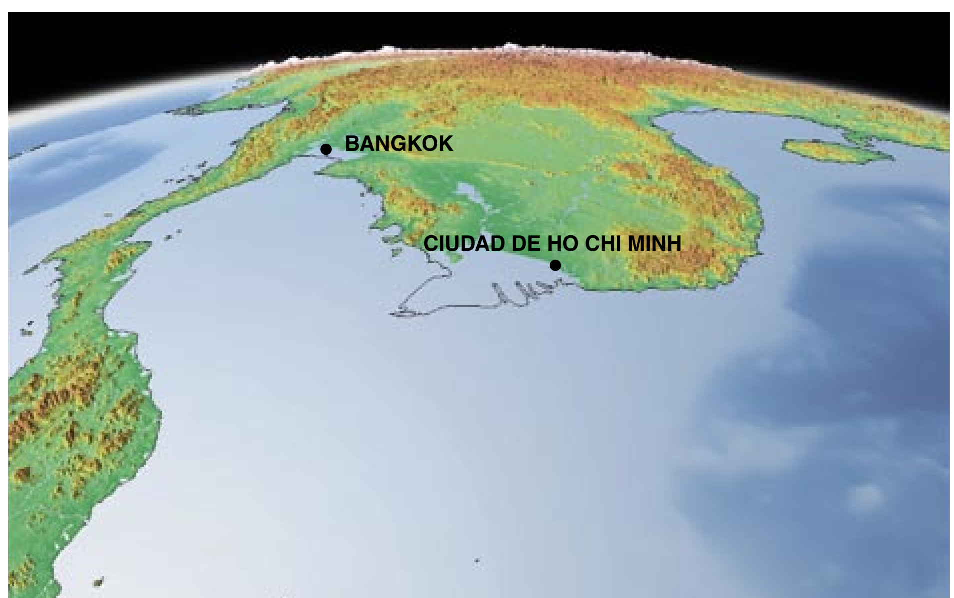
2. FLORIDA mostraba un aspecto muy distinto hace 20.000 años, durante el último período glacial. En esa época, enormes cantidades de agua quedaban encerradas en las capas de hielo continentales hacia el norte, y el nivel del mar era casi 120 metros inferior al de hoy (*arriba*). Con la fusión de los hielos, la línea de costa se retiró hacia el interior, hasta su posición actual (*línea negra*). El desplome de la Antártida Occidental podría elevar el nivel del mar otros cinco metros, inundando grandes extensiones (*abajo*).

¿Arriba o abajo?

Cualquiera que sea el sino de los casquetes polares, la opinión mayoritaria se inclina por aceptar que el nivel del mar está subiendo. Afirmación a la que se ha llegado por un camino tortuoso. Distribuidos por puertos de todo el mundo, hay mareógrafos que vienen midiendo el nivel del mar desde hace decenios; pero de eso a poder calcular la variación de la altura global de los océanos media un abismo. Por una dificultad principal: el suelo sobre el que se asientan tales instrumentos puede estar oscilando hacia arriba o hacia abajo. Algunas regiones, pensemos en Escandinavia, se hallan todavía recuperando su nivel, tras haber permanecido hundidas bajo enormes glaciares durante el último período glacial. Tal recuperación posglacial explica por qué el nivel del mar medido en Estocolmo parece estar cayendo a razón de unos cuatro milímetros por año, mientras que está ascendiendo a razón de milímetro y medio anual en Honolulú, lugar muy estable.

En principio, podría determinarse el ascenso real del nivel del mar si descartáramos los resultados de los mareógrafos instalados en los puertos donde las masas terrestres se están moviendo. Pero esa estrategia implica prescindir de un plumazo de la mayoría de los datos disponibles. Casi toda la costa oriental de Norteamérica, por ejemplo, está todavía reacomodándose desde su anterior posición





3. EL SURESTE DE ASIA durante la última glaciación abarcaba una enorme extensión de terreno a lo largo de lo que constituye hoy el estrecho de la Sonda. Esas tierras unían Asia continental con las islas de Indonesia, formando una gran masa (*arriba*). Si se fundiese la capa de hielo de la Antártida Occidental, el aumento resultante de cinco metros en el nivel del mar inundaría los deltas de los ríos; anegaría en su avance los alrededores de la Ciudad de Ho Chi Mihn y Bangkok (*abajo*) y alteraría la actual línea de costa (*línea negra*).

elevada en una "protuberancia periférica", borde elevado que rodeaba la depresión creada por la gran capa de hielo que cubría Canadá hace 20.000 años. Y lo que reviste mayor interés: los efectos locales —tales como los abombamientos que se producen en los bordes de las placas tectónicas o la subsidencia que se sigue cuando se extrae agua o petróleo del suelo— dominan en los registros de muchos mareógrafos, incluso en los trópicos. En Bangkok, donde los habitantes no cesan de extraer agua del subsuelo a un ritmo creciente, el fenómeno de la subsidencia podría inducir a creer que el nivel del mar hubiera subido casi un metro a lo largo de los últimos 30 años.

Para nuestra fortuna, los geofísicos han ideado métodos ingeniosos para superar algunas de estas dificultades. De acuerdo con uno de ellos, se calculan los movimientos esperados de la recuperación posglacial, para restarlos de los resultados de las mediciones tomadas en los mareógrafos. Valiéndose de esta argucia, William R. Peltier y A. M. Tushingham, de la Universidad de Toronto, llegaron a la conclusión según la cual el nivel global del mar ha subido a razón de unos dos milímetros por año durante los últimos decenios. Resultado que comparten otros autores que se han fundado en registros distintos.

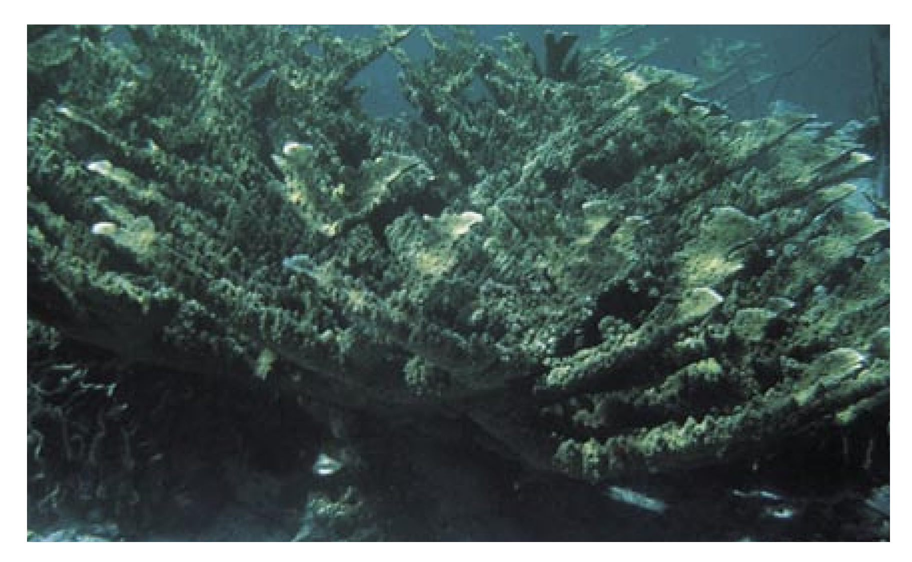
Que tal sea la tasa actual de ascenso del nivel del mar ha recibido ulterior respaldo por parte del TOPEX/Poseidon; durante cuatro años este satélite ha realizado mediciones con dos radares altimétricos que apuntan hacia el océano. Puesto que se conoce con exactitud la posición del satélite, las mediciones radáricas de su distancia del mar pueden servir de mareógrafo espacial. Aunque al TOPEX/Poseidon se le ha asignado la misión central de medir la circulación del agua en el océano siguiendo las ondulaciones superficiales causadas por las corrientes, se ha mostrado también capaz de registrar los cambios generales en el nivel del mar.

"Cuando se promedia el globo, se extrae mucha menos variabilidad que la aportada por un mareógrafo solo", explica R. Steven Nerem, de la Universidad de Texas en Austin. Los resultados que ha publicado del altímetro TOPEX indicaban que el nivel global del mar subía a razón de casi cuatro milímetros por año, el doble de lo determinado con anterioridad; pero más tarde se descubrió que los datos se resentían de un defecto en la programación empleada para procesar los datos del satélite. Un análisis más reciente parece confirmar la estima, fundada en instrumentos de superficie, de dos milímetros anuales de ascenso en el nivel del mar.

Mirando hacia atrás

Salvo contadas reticencias, se aceptan esos dos milímetros de subida por año. Pero, y ésa es ahora una cuestión clave, ¿se mantendrá constante la tendencia o se acelerará con el calentamiento climático? Los geólogos han aportado su grano de arena a la solución del problema rastreando en el pasado las fluctuaciones del nivel del mar en respuesta a los cambios climáticos.

Fairbanks, de Columbia, por ejemplo, ha estudiado cierto coral que crece cerca de la superficie, sobre todo en el mar del Caribe y aledaños. Con sus colaboradores realizó perforaciones profundas en los arrecifes coralinos de Barbados; extrajeron muestras antiguas de esta especie subsuperficial, gracias a las cuales pudieron seguir el ascenso del nivel del mar desde el final de la última era glacial, cuando había enormes



4. LOS CORALES SUBSUPERFICIALES de la especie *Acropora palmata* ayudan a determinar los cambios del nivel del mar ocurridos en el pasado. Perforando en el interior de los arrecifes coralinos y recuperando antiguas muestras de esta especie de las profundidades bajo el fondo del mar, los científicos han podido reconstruir la subida del nivel del mar cuando terminó la última era glacial.

cantidades de agua todavía aprisionadas en los casquetes polares y los océanos estaban unos 120 metros por debajo del nivel actual.

Aunque sus registros del coral muestran episodios en los que el mar subió hasta dos o tres centímetros por año, Fairbanks observa que “esas velocidades corresponden a un mundo muy diferente”. En aquel entonces, hace de 10.000 a 20.000 años, las grandes capas de hielo que antaño cubrían gran parte de Norteamérica y Europa estaban a la mitad de su fusión y el océano recibía cantidades ingentes de agua. La fracción más reciente del registro del nivel del mar indica una disminución progresiva de la velocidad de ascenso, hasta que la altura del océano se estancó, tal parece, en los últimos milenios. En coherencia con ello, el régimen climatológico actual aparece inclinado hacia un nivel del mar bastante estable.

Pero este cuadro tranquilizador lo pone en cuestión John B. Anderson, de la Universidad de Rice. Los datos recogidos por el grupo de Fairbanks “no presentan la precisión requerida para descubrir la clase de sucesos pronosticados por los modelos glaciológicos”, sostiene Anderson. Hubo al menos tres episodios de brusco ascenso del nivel del mar en los últimos 10.000 años, que las muestras coralinas no detectan por la sencilla razón de que “existe una barra de error de cinco metros asociada a tal método”.

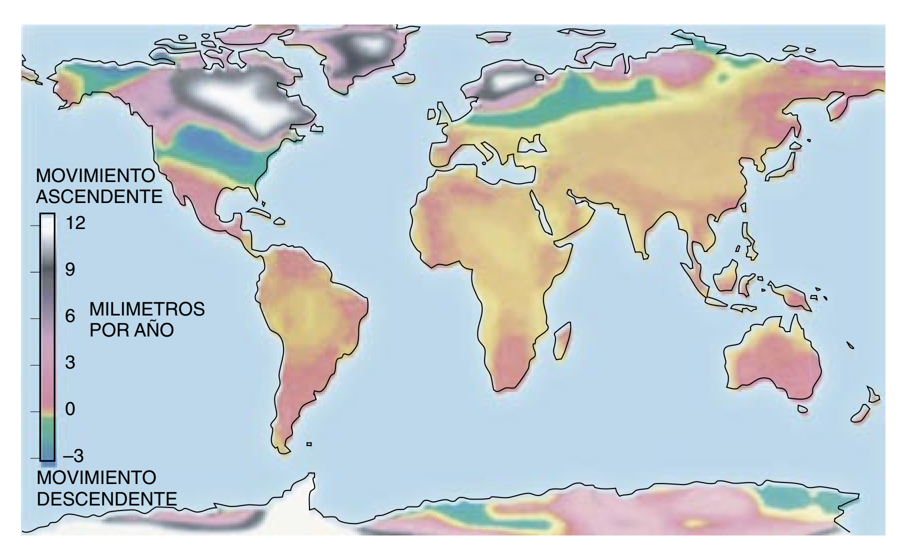
El grupo de Anderson ha recabado pruebas de la bahía de Galveston, en el golfo de México, donde los testigos de sedimentos y los sondeos sísmicos revelan el comportamiento del estuario ante el ascenso del nivel del mar desde la última era glacial. Un aumento continuo del nivel del mar habría hecho que los entornos submarinos que caracterizan diferentes partes del estuario se moviesen gradualmente hacia la tierra. Pero el archivo geológico de la bahía de Galveston, dice Anderson, muestra características “muy espectaculares” que evidencian una brusca inundación de esa antigua ribera.

El episodio más antiguo de brusca subida del nivel del mar que Anderson percibe aconteció 2000 años a.C., cuando el clima global se parecía bastante a las condiciones actuales. De acuerdo con sus resultados, el nivel del mar pudo haber subido notablemente en sólo unos siglos. Anderson, sin embargo, no ha podido establecer la cuantía del ascenso.

Sería de esperar que los arqueólogos echaran una mano en el rastreo de antiguas oscilaciones del nivel del mar. Deberían reexaminar los yacimientos costeros sumergidos tras la subida. Gracias a los análisis realizados en el Mediterráneo de los últimos 2000 años, sabemos que el nivel del mar ha ascendido un promedio de sólo dos décimas de milímetro por año. Pero tales trabajos arrojan poca luz sobre si el océano pudo haber ascendido bruscamente hace 4000 años. Cierto es que la arqueología no está todavía preparada para discernir cuándo empezó exactamente a acelerarse la subida del nivel del mar hasta alcanzar la tasa actual de dos milímetros anuales.

Pese a tales lagunas en nuestra comprensión de la oscilación del nivel del mar en el pasado y la que experimentará en el futuro, los expertos del Comité Intergubernamental del Cambio Climático han trazado las líneas generales del curso previsble de aquí a un siglo. De acuerdo con ese pronóstico, el nivel del mar variaría entre 20 centímetros hasta

5. A LAS CORRIENTES DE HIELO, o canales donde el hielo glacial avanza raudo hacia el mar, se las consideró indicadores de la fusión de la capa de hielo de la Antártida Occidental. Pero la investigación reciente ha revelado que una de las principales corrientes de hielo que conduce al mar de Ross (la corriente de hielo C) se detuvo hace más de un siglo.



6. EL REBOTE POSGLACIAL, o lenta recuperación de la deformación causada por las pesadas capas de hielo, explica el movimiento vertical de tierras en distintos puntos del globo. Estos movimientos, que han venido produciéndose desde que terminó el último período glacial, afectan al nivel del mar relativo en la costa; por eso varía éste de un lugar a otro. Tales movimientos pueden falsear los registros de los mareógrafos obtenidos en puertos y complicar así los esfuerzos para seguir la pista al cambio general del nivel global del mar.

casi un metro. El extremo inferior de ese intervalo corresponde a la velocidad de aumento del nivel del mar que, se infiere, se ha venido produciendo a lo largo del último par de siglos, desde antes de que el hombre lanzara sin tasa a la atmósfera dióxido de carbono y otros gases de invernadero. Es decir, en los próximos cien años el nivel del mar se limitaría a proseguir un aumento natural que se ha tolerado durante tanto tiempo. La cota superior del informe del Comité representa una aceleración substancial que podría darse, pero de la que hasta ahora no existe confirmación.

Afrontando el futuro

Ni que decir tiene que los gobiernos y entidades supranacionales deben tomar en consideración todas las hipótesis con vistas a planificar el futuro. Aunque ese intervalo de duda de cinco veces en la cuantía posible de aumento puede preocupar a algunos, John G. de Ronde, del Ministerio de Transporte y Obras Públicas holandés, parece no inmutarse. Cualquiera que sea la tendencia en la oscilación del nivel del mar, confía en que su país puede afrontarla: "Subida del nivel del mar: se puede medir, se puede ver y se puede hacer algo al respecto."

Por enormes que parezcan las inversiones necesarias, de Ronde explica que el coste que implican la mejora de los diques y otras obras hidráulicas para acomodarse a 60 centímetros de aumento del nivel del mar en el próximo siglo no asciende a más de lo que los habitantes pagan ahora para conservar sus senderos de bicicleta. Siente mayor preocupación por los condados costeros pobres y escasos de suelo cultivable, así como por un aspecto del cambio climático que es mucho más difícil de predecir que el nivel del mar: los cambios en la frecuencia e intensidad de temporales violentos. "Se necesitarían 20 años para notar alguna variación en las estadísticas", observa de Ronde, "pero un temporal muy violento puede producirse mañana mismo".

En resumen, mientras la capa de hielo de la Antártida Occidental no sufra profundas alteraciones, el problema real con el que se enfrentan las regiones costeras será el de la incidencia del calentamiento de invernadero sobre los fenómenos extremos del tiempo local y la intensidad de las oleadas catastróficas. Mas, para esa clase de cambios, los expertos disponen de muy escasas herramientas en su elaboración de pronósticos. Habrá que esperar el avance de la investigación y el refinamiento de los modelos informáticos para que los climatólogos puedan identificar dónde se deteriorarán las condiciones y dónde mejorarán. Y quién sabe, si, aún entonces, tales predicciones no resultarán poco fiables. Como dice de Ronde, "tenemos que convivir con fenómenos cuya naturaleza se nos escapa".

Onnes y el descubrimiento de la superconductividad

La carrera por alcanzar el cero absoluto, disputada en el cambio de siglo, condujo al descubrimiento inesperado de unas corrientes eléctricas que fluían sin resistencia

Rudolf de Bruyn Ouboter

La superconductividad —la desaparición de la resistencia en una corriente eléctrica— es uno de los fenómenos más extraños de la naturaleza. En marzo hizo diez años de lo que algunos llamaron el "Woodstock de la física", el día en que los físicos que abarrotaban un salón de baile del Hilton de Nueva York escucharon las apresuradas comunicaciones que les informaron de la existencia de superconductividad a unas temperaturas mucho mayores que las conocidas hasta entonces. Treinta años antes, John Bardeen, Leon N. Cooper y J. Robert Schrieffer establecieron los fundamentos teóricos que mejor explicaban la superconductividad. La obra del brillante físico experimental Heike Kamerlingh Onnes, el descubridor de la superconductividad, está casi olvidada en la investigación teórica y en la búsqueda de materiales que superconduzcan a temperaturas aún mayores.

A Onnes le atraía el frío, lo que sin duda le haría disfrutar aún más del día de diciembre de 1913 en que recibió el Nobel de física en Estocolmo. El objetivo primario de sus investigaciones era la cuantificación del comportamiento de los gases a temperaturas bajísimas; el programa experimental con el que fue obteniéndolas cada vez menores

RUDOLF DE BRUYN OUBOTER enseña física experimental en el laboratorio Kammerlingh Onnes de la Universidad de Leiden. Su campo de investigación es la física de bajas temperaturas, en particular las propiedades de los superconductores, el helio superfluido y las uniones de Josephson mesoscópicas.



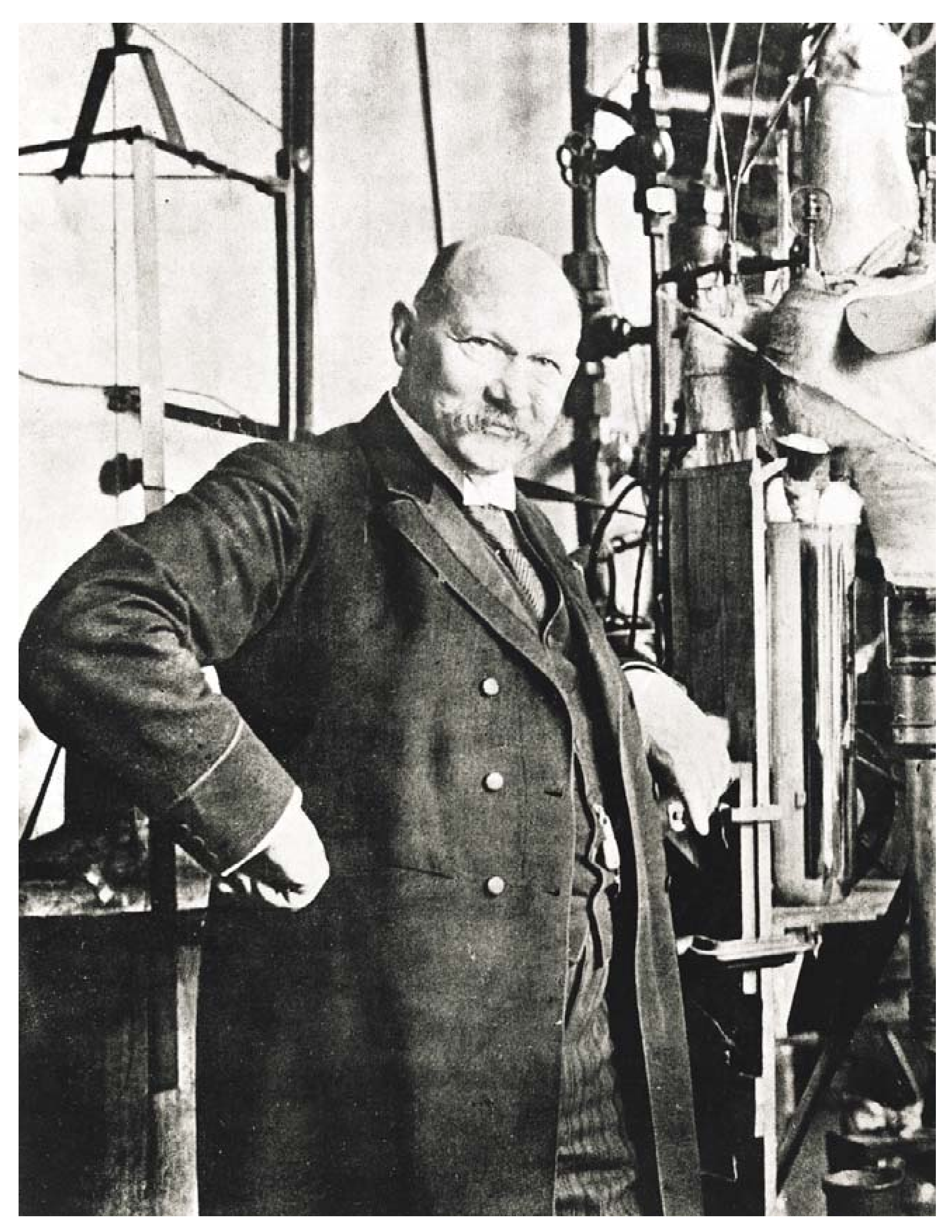
le llevó además a descubrir la superconductividad.

Nació en 1853 en Groningen, en el nordeste de Holanda. Su padre tenía una fábrica de tejas, pero parece que en la familia fue mayor la influencia del temperamento de la madre, más artístico. El hermano y el sobrino de Onnes fueron pintores renombrados y su hermana se casó con el conocido artista de Leiden Floris Verster; él mismo hizo de joven sus pinitos en la poesía. En su lema en el laboratorio, *Door meten tot weten*, "Por la medición al conocimiento", queda una reminiscencia de sus inclinaciones poéticas. Pero sólo le despertarían la pasión sus posteriores investigaciones sobre la física de las bajas temperaturas.

Entró en la Universidad de Groningen en 1870 para estudiar física, pero se ve que tenía ganas de viajar y al año siguiente se trasladó a la Universidad de Heidelberg, donde estudió con el químico Robert Bunsen (cuyo apellido les sonará a quienes hayan tenido que encender un mechero en una práctica de laboratorio) y con el físico Gustav Kirchhoff. En 1873 volvió a Groningen, donde defendería cinco años después su tesis doctoral sobre la influencia de la rotación de la Tierra en un péndulo corto. Se cuenta que los examinadores prorrumpieron en aplausos al terminar su defensa.

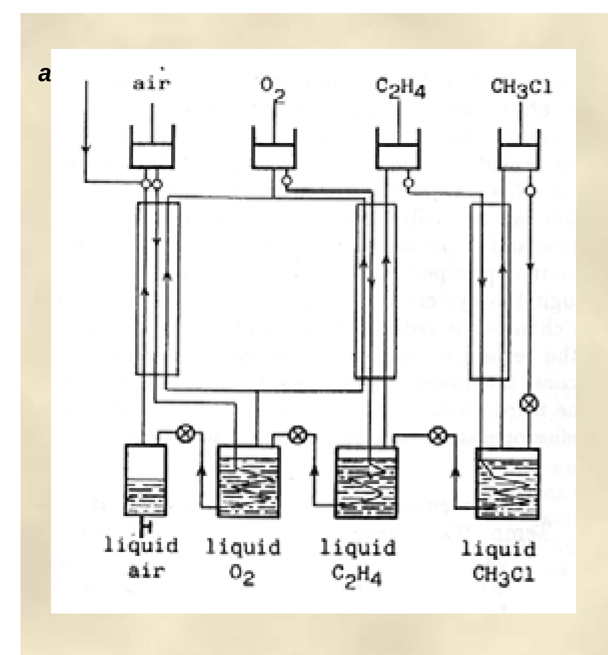
Cuando estaba concluyendo ya su trabajo doctoral conoció a Johannes Diderik van der Waals, profesor de física de la Universidad de Amsterdam. Se sabía aproximadamente cuál era el comportamiento de los gases desde que en la segunda mitad del siglo XVII Robert Boyle mostrase que, manteniendo la temperatura, la presión era inversamente proporcional al volumen. La ecuación resultante describía la naturaleza de un gas idealmente perfecto cuyas moléculas no ocupasen volumen y no ejercieran fuerzas entre sí. A medida que mejoraron las técnicas de medición, los físicos y los químicos fueron percibiendo que los gases se desviaban de ese comportamiento perfecto.

Van der Waals se propuso obtener una descripción coherente de los gases reales que tuviese en cuenta el verdadero espacio ocupado por las moléculas reales y las fuerzas que unas ejercen en las otras. En 1873 logró la formulación de la ley de van der Waals, que describía las propiedades reales de los gases para cada gas en particular; siete años después publicó su ley de los estados correspondientes, que explicaba el comportamiento de todos los gases reales con una sola ecuación. Aunque el trabajo de Onnes en la mecánica fue ejemplar, vio que lo que de verdad le interesaba era seguir los pasos de van der Waals y explorar el comportamiento de los gases.

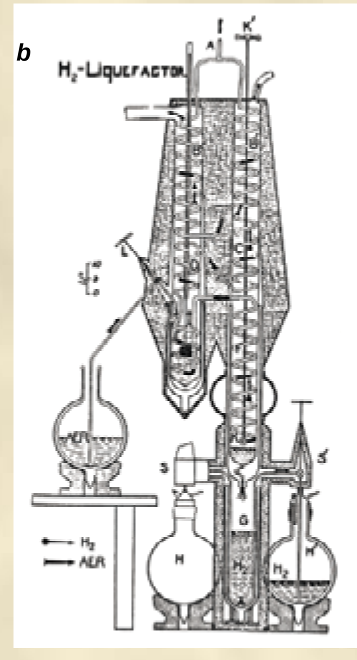


1. HEIKE KAMERLINGH ONNES JUNTO AL APARATO con el que acercó el helio al cero absoluto, licuándolo con ello. Por azar, como una derivación de su lucha por obtener temperaturas sumamente bajas, descubrió el fenómeno que bautizó como “superconductividad”. En los últimos años la consecución de la superconductividad a temperaturas cada vez mayores ha suscitado esperanzas de que el mercado de aparatos basados en ella se expanda. En la página anterior se ve a un técnico que participa en esas investigaciones comprobando una bobina sumergida en nitrógeno líquido a una temperatura de unos 77 grados kelvin.

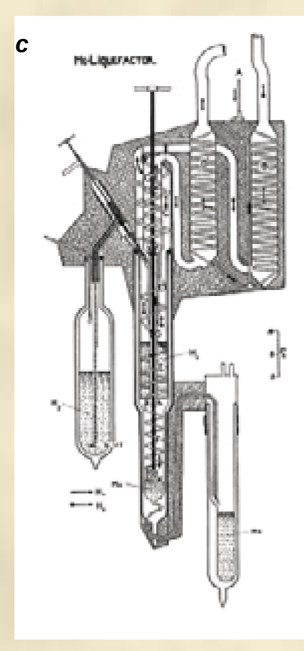
a



b



c



2. EL APARATO DE CASCADA (*a*) construido por Onnes en 1892 producía 14 litros de aire líquido por hora. El aire líquido era esencial para que funcionase el licuador de hidrógeno (*b*) que nuestro hombre perfeccionó en 1906. El hidrógeno gaseoso atraviesa el sistema hacia un baño de aire líquido y por último llega a una válvula de expansión, que deja que el gas se expanda y licue. Se recoge el hidrógeno líquido y el gas residual vuelve al compresor. Onnes desarrolló el primer licuador de helio (*c*) en 1908. Posó con su mentor, Johannes Diderik van der Waals, ante el dispositivo en 1911 (*d*) y, diez años después, con su ayudante principal, Gerrit Flim (*e*).

La cascada que llevó al hidrógeno líquido

La Universidad de Leiden le nombró profesor de física en 1882. En la mecánica y el electromagnetismo las técnicas cuantitativas eran la norma, pero cuando se trataba de estudiar la materia en vez de las fuerzas la investigación era a menudo cualitativa. Onnes se impuso la meta de hacer que los análisis matemáticos fuesen universales; el rigor matemático era esencial en los problemas científicos que le importaban.

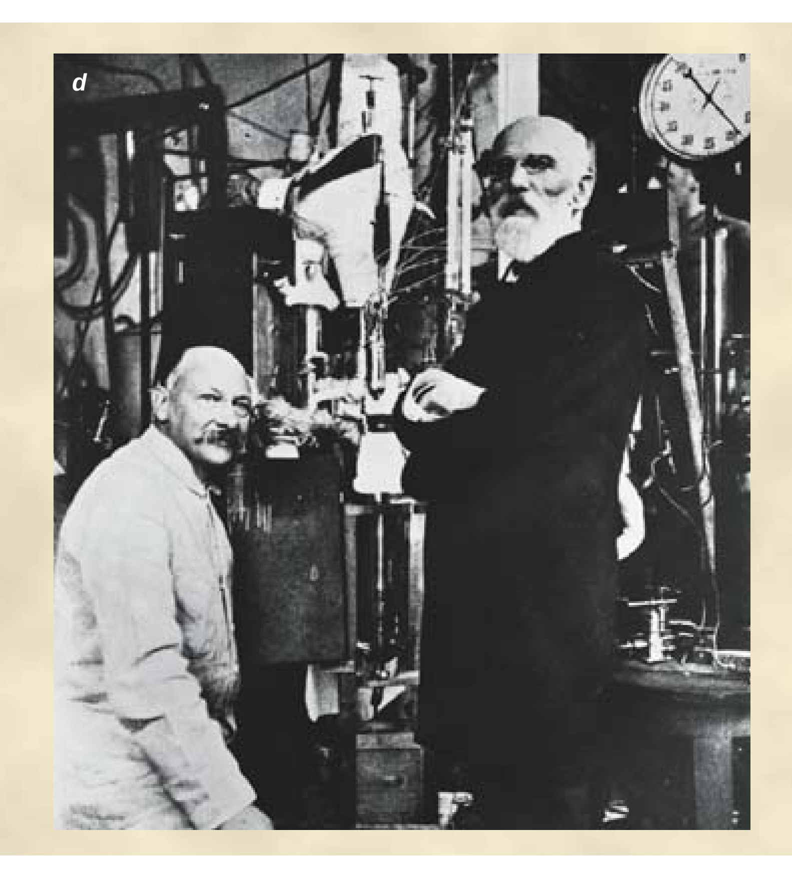
La única manera de comprobar las ideas de van der Waals era medir las propiedades de los gases en condiciones extremas. A temperaturas bajísimas, por ejemplo, un gas determinado se aparta mucho más de las leyes de los gases ideales y sigue las predicciones de van der Waals para los reales. La necesidad de contar con condiciones sumamente frías hizo que Onnes creara un laboratorio criogénico en Leiden. (Esta instalación se rebautizó en 1932 con el nombre de laboratorio Kamerlingh Onnes.) La asociada necesidad de operarios bien formados que elaborasen los delicados y complejos instrumentos que hacían falta para el trabajo criogénico le llevó a fundar la Sociedad para la Promoción de la Formación de Constructores de Instrumentos. Esta escuela universitaria produjo unos técnicos muy capacitados, sopladores de vidrio entre ellos, que crearían los instrumentos que Onnes, y muchos otros investigadores del mundo, utilizaron.

El físico francés Louis P. Cailletet y el científico suizo Raoul P. Pictet consiguieron por separado licuar en 1877 el oxígeno y el nitrógeno. Antes de este logro había en la comunidad científica muchos que aceptaban que esos gases y el hidrógeno no serían quizá licuables. (Se había visto el helio en el espectro solar, pero no se descubriría en la Tierra hasta 1895.) El problema estribaba en obtener las temperaturas bajísimas a las que se condensan esos gases. Cailletet y Pictet sólo pudieron producir cantidades ínfimas de líquido. Onnes, sin embargo, necesitaba grandes masas para llevar a cabo sus investigaciones.

En 1892 había logrado desarrollar un aparato que las generaba. El sistema se basaba en un proceso de los que vinieron a llamarse de cascada: se comprime una serie de gases con temperaturas de condensación cada vez menores, se los enfría hasta sus puntos de licuefacción y luego se los expande. El vapor que sale de la evaporación de los gases enfría el siguiente gas comprimido de la serie. Onnes arrancaba con el cloruro de metilo, que a una presión de cinco atmósferas (atm) se licua a +21 grados, y condensaba uno tras otro el etileno (–87 grados a 3 atm), el oxígeno (–145 grados a 17 atm) y, por último, el aire (–193 grados a 1 atm).

Mas para licuar el hidrógeno la temperatura tendría que estar mucho más cerca del cero absoluto; la construcción del aparato sería, pues, más delicada. Según las leyes que gobiernan el comportamiento de los gases ideales, la presión, a volumen constante, cae con la temperatura. En teoría la presión es nula a –273,15 grados centígrados (pero los gases reales se habrían licuado antes). Esta temperatura define el cero de la escala Kelvin y recibe el nombre de cero absoluto porque no cabe obtener una temperatura menor.

En 1898 James Dewar, el físico de bajas temperaturas escocés, ganó a Onnes en la consecución del hidrógeno líquido basándose en un fenómeno termodinámico, la expansión de Joule-Thomson: la temperatura de un gas cambia, usualmente disminuye, cuando se expande a través de una válvula. Dewar hizo que la expansión de Joule-Thomson fuera parte de un proceso de cascada; la convirtió en un elemento fundamental de su intento de licuar el hidrógeno, porque si se lo enfría a –80 grados y a continuación se lo expande, su temperatura cae aún





más. (Es curioso que por encima de –80 grados el hidrógeno se caliente al expandirse; por eso se llama a ese punto temperatura de inversión del hidrógeno.) De esta manera, Dewar llevó el hidrógeno por debajo de su punto de licuefacción, unos –253 grados centígrados, o 20 kelvin.

El aparato de Dewar producía sólo unas cantidades pequeñas de hidrógeno líquido, lo que seguramente no le contrariaba. Parece que a Onnes le movía la observación de los gases a baja temperatura. El objetivo de Dewar, en cambio, era sólo acercarse al cero absoluto. Sin embargo, fue Onnes quien acabó por ser reconocido con el título de "caballero del cero absoluto".

A Onnes le interesaba producir cantidades mucho mayores de hidrógeno líquido que las obtenidas por Dewar; ésta es una de las razones de que no licuara el hidrógeno hasta ocho años después de que Dewar lo hiciera. Otra fueron los temores de la comunidad de Leiden. Durante la ocupación napoleónica de Holanda, en 1807, estalló una embarcación con municiones en un canal del centro de Leiden. El laboratorio de Onnes estaba construido sobre las ruinas de la parte destruida de la ciudad. Cuando el ayuntamiento supo en 1896 que el laboratorio albergaba una cantidad considerable de hidrógeno comprimido, un gas violentamente combustible, el recuerdo histórico de la explosión de la embarcación hizo que les entrase pánico. Las autoridades nombraron una comisión para que estudiase el asunto, pero incluso aunque van der Waals fue uno de sus miembros y pese a una carta de Dewar en la que rogaba al ayuntamiento que dejase que las investigaciones continuaran, los trabajos de Onnes con el hidrógeno se suspendieron durante dos años.

Del helio al premio

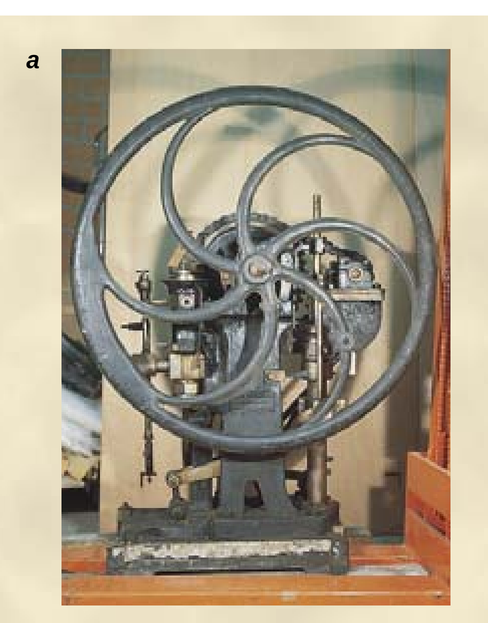
Para 1906 Onnes y su equipo habían desarrollado un aparato capaz de producir cantidades bastante grandes de hidrógeno líquido por el método de la expansión de Joule-Thomson. El licuador comprimía el hidrógeno gaseoso, se hacía que éste pasase por una región enfriada con aire líquido y se dejaba que se expandiese; así se enfriaba lo bastante para que se licuara al menos una parte. Se tomaba el hidrógeno gaseoso que quedase y se lo devolvía al sistema para el siguiente intento. El aparato producía al principio cuatro litros de hidrógeno líquido por hora, para llegar a 13 con las mejoras posteriores.

Mientras Onnes y Dewar intentaban licuar el hidrógeno, William Ramsey descubría en Inglaterra, en 1895, el helio terrestre. El helio es el más ligero de los gases inertes; sus átomos ejercen unas fuerzas debilísimas entre sí. La poca intensidad de estas interacciones contribuye a que la temperatura de condensación sea excepcionalmente baja. Si el grial había sido el hidrógeno líquido, ahora lo era el helio líquido. "Decidí inmediatamente que mi propósito iba a ser llegar al final del camino", escribió Onnes.

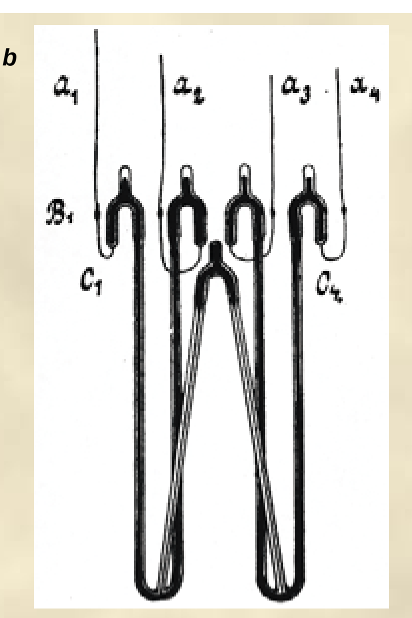
El primer paso fue la adquisición de una cantidad suficiente del recién descubierto gas helio. Por suerte el hermano de Onnes era el director de la Oficina de Información Comercial de Amsterdam, y consiguió que se comprase en Carolina del Norte una cantidad muy grande de arena de monacita, que contiene helio. Onnes extrajo 300 litros de helio gaseoso (a 1 atm) del cargamento de arena.

La disponibilidad de un suministro constante de hidrógeno líquido era la clave de la licuefacción del helio. Onnes diseñó un nuevo aparato, que usaba aire y finalmente hidrógeno líquidos como refrigerantes. Se intentaría condensar el helio y obtener unas gotas preciosas de líquido con la expansión de Joule-Thomson otra vez. El sistema estaba acabado y funcionando el 10 de julio de 1908. La noticia corrió por la universidad. Se congregó un pequeño corro

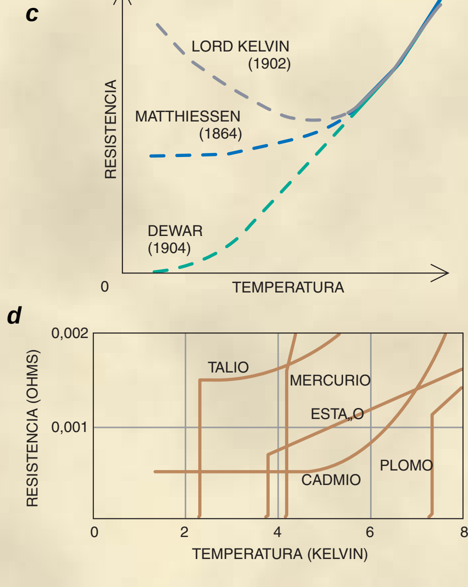
a



b



c



3. EL COMPRESOR DE CAILLETET (*a*), inventado por Louis P. Cailletet y que licuaba el oxígeno y el nitrógeno, fue utilísimo para Onnes a lo largo de su carrera. Como no se pierde gas durante la compresión o expansión, el aparato venía bien para trabajar con gases puros y costosos. Un tubo capilar con forma de W (*b*) llevaba el alambre de mercurio con el que se comprobaba la resistencia eléctrica del mercurio a temperaturas bajas. Antes de que Onnes abordara sus investigaciones, el comportamiento predicho de los metales (*c*) era muy diferente del que él halló. Descubrió que la disminución de la temperatura va acompañada de caídas bruscas de la resistencia (*d*) de ciertos metales.

de científicos para observar lo que pasaba.

A media tarde el helio gaseoso fluía por el circuito, pero a primera hora de la noche no se había visto todavía helio líquido y el termómetro se negaba a bajar de los 4,2 grados kelvin. Un profesor de química que había acudido, Franciscus Schreinemakers, sugirió que quizá la lectura del termómetro no bajaba más porque en realidad ya se había hecho helio líquido, pero era difícil de ver. Onnes iluminó entonces la vasija colectora desde abajo. Contó más tarde que fue un momento maravilloso; la superficie del helio líquido apareció de pronto con toda claridad contra la pared de cristal del vaso como el filo de un cuchillo. Contó también lo feliz que le hizo poder enseñarle a van der Waals el helio líquido. Reduciendo la presión, Onnes bajó la temperatura hasta 1,7 grados kelvin; era cautivadora en aquellos días esa cercanía al cero absoluto. Se emplearon termómetros de helio gaseoso para medir esas temperaturas bajísimas. (A volumen constante y presión baja, las propiedades del helio del termómetro se acercan lo bastante a las del mítico gas ideal como para que sea posible efectuar mediciones de temperatura: puesto que el producto de la presión y el volumen es proporcional a la temperatura, la medición de aquélla a volumen constante da ésta.)

Durante los tres años siguientes Onnes se entregó a la construcción de aparatos mejores con los que pudiera usar en sus investigaciones el helio líquido. Retirar simplemente el líquido de la vasija donde se condensaba e introducirlo en un recipiente de almacenamiento era ya un gran problema técnico. Por fin, en 1911 estaba listo un criostato de helio que conservaba el líquido a baja temperatura constante y servía para estudiar el comportamiento de otras sustancias a las temperaturas del helio líquido.

El frío y las corrientes

Por entonces era bien sabido que la resistencia eléctrica de un metal decrecía con la temperatura. Pero se debatía acaloradamente qué pasaría exactamente en el cero absoluto. Lord Kelvin creía que el flujo de electrones, que parecía mejorar al disminuir la temperatura según se desprendía de la menor resistencia encontrada, podría en realidad detenerse del todo: los electrones quedarían congelados en su sitio. En el cero absoluto, la resistencia sería, pues, infinita. Otros, Onnes y Dewar entre ellos, suponían que el descenso de la resistencia con la caída de temperatura seguiría produciéndose de forma ordenada hasta anularse en el cero absoluto. (En 1905 el alemán Walter H. Nernst mostró que las leyes de la termodinámica prohibían alcanzar experimentalmente el cero absoluto. Desde entonces se han alcanzado temperaturas de 0,3 kelvin mediante helio 3, un isótopo raro; la desmagnetización de los núcleos atómicos ha creado temperaturas de sólo 0,00001 kelvin.) Lo que de verdad sucedió fue asombroso y, dado el conocimiento atómico que se tenía de la materia en 1911, completamente impredecible.

Como las impurezas de un metal podrían perturbar la corriente eléctrica y confundir los resultados experimentales, Onnes decidió trabajar con mercurio. Podía destilarlo una y otra vez en estado líquido a la temperatura ambiente y producir así una muestra muy pura para sus experimentos a baja temperatura. El mercurio se introducía en un tubo capilar de vidrio con forma de U; llevaba unos electrodos en ambos extremos para que pasase por el mercurio una corriente mientras fuera todavía líquido y medirla. Finalmente se enfriaba el mercurio hasta que se convertía en un alambre sólido. A todas las temperaturas medidas el equipo de Onnes halló el esperado descenso regular de la resistencia. Pero a las temperaturas del helio líquido, aún mensurablemente por encima del cero absoluto, ya se observaba que la resistencia había desaparecido por completo.

Realizaron los experimentos Onnes, Gerrit Flim, jefe del equipo técnico, y sus colaboradores Gilles Holst y

Cornelius Dorsman. Onnes y Flim se encargaron del aparato criogénico donde se enfriaba el mercurio mientras Holst y Dorsman registraban en una habitación oscura a cincuenta metros de distancia las lecturas de la resistencia tomadas por los galvanómetros.

Jacobus de Nobel, investigador del laboratorio criogénico de Leiden, contó no hace mucho cierto suceso, que, al llegar allá en 1931, era joven entonces, le oyó a Flim. (Ni que decir tiene que hay que cuidarse de tomar un relato así al pie de la letra; ha pasado mucho tiempo y la historia es de tercera mano.) Repetidos ensayos indicaban sin excepción que la resistencia era nula a las temperaturas del helio líquido. Supusieron los investigadores que algún cortocircuito tenía la culpa y reemplazaron el tubo en U por otro en forma de W con electrodos en ambos extremos y en los codos; se medían así cuatro segmentos diferentes. La resistencia volvió a ser nula; no se hallaron cortocircuitos en ninguno de los segmentos.

Siguieron repitiendo el experimento. Un alumno de la escuela de constructores de instrumentos se encargó de apuntar las lecturas del medidor de presión conectado al aparato. La presión del vapor de helio tenía que ser en el criostato un poco menor que la atmosférica para que el aire se precipitara por cualquier resquicio mínimo que hubiese, se congelase y los taponara. En una de las sesiones experimentales el joven se quedó dormido. La presión fue subiendo lentamente, y con ella la temperatura. Cuando se acercó a los 4,2 kelvin, Holst vio saltar súbitamente las lecturas de los galvanómetros; la resistencia había reaparecido.

Según la historia que cuenta de Nobel, Holst había asistido, sin saberlo y por una vía inversa, a la transición en la que el mercurio abandona sus propiedades conductoras normales y entra en el estado que Onnes llamaría de "superconductividad". Los repetidos ensayos convencieron a éste de que la pérdida brusca de la resistencia del hidrógeno a unos 4,2 grados kelvin era real. Publicó su descubrimiento en noviembre de 1911 con el título de "Sobre el cambio brusco de la velocidad con que desaparece la resistencia del mercurio". Las pruebas subsiguientes con estaño y plomo mostraron que la superconductividad era una propiedad de muchos metales cuando se los enfriaba lo suficiente.



4. RETRATO DE ONNES realizado por su sobrino, Harm Kamerlingh Onnes, en 1922.

En 1914 había establecido una corriente permanente o, como la llamaba él, una "supercorriente persistente" en una bobina superconductora de plomo. Había colococado la bobina en un criostato a baja temperatura; inducía la corriente un campo magnético externo. Al no haber resistencia nada se oponía a que los electrones de la bobina fluyesen sin fin. Tras ver la corriente, el físico austroholandés Paul Ehrenfest le escribió a Hendrick Lorentz, galardonado con el Nobel de física: "Es sobrecogedor observar el efecto de esas supercorrientes 'permanentes' en una aguja magnética. Tienes una sensación casi tangible de cómo el anillo de electrones del alambre gira, y gira, y gira, lentamente y sin fricción."

Pero a Onnes le incomodaba que hasta un campo magnético insignificante acabase con la superconductividad. Tamaña sensibilidad indicaba que, pese a la falta de resistencia, sólo podían pasar por los materiales superconductores corrientes pequeñas (los campos magnéticos asociados a corrientes lo bastante intensas extinguían la superconductividad). Este problema fue el mayor impedimento que la aplicación práctica del descubrimiento de Onnes tuvo en vida de éste. Pasarían cincuenta años antes de que se descubriesen unos materiales que, procesados adecuadamente, toleraban corrientes grandes con sus campos magnéticos asociados. Los dispositivos de creación de imágenes por resonancia magnética, de importancia capital en la diagnosis moderna, son la aplicación práctica más conocida de los avances de la superconductividad en la segunda mitad de este siglo.

Heike Kammerling Onnes murió en 1926. Sus logros encerraban mayor valor si caemos en la cuenta de que sufría de una dolencia bronquial que le obligaba a dejar el laboratorio durante largos períodos, en los que convalecía en Suiza. No parece que su ausencia física le impidiera guiar los pasos de quienes trabajaban en su laboratorio; ni siquiera la muerte le detuvo. Según la leyenda de Leiden, su funeral duró más de lo esperado y el cortejo hubo de ir con la lengua fuera por la ciudad para que el entierro se celebrase a la hora prevista en el cercano pueblo de Voorschoten. Mientras el cortejo se apresuraba, se dice que Gerrit Flim comentó: "El viejo es el mismo hasta el final; hasta ahora nos tiene corriendo."

Aunque la superconductividad siguió siendo un área de estudio esotérica durante la vida de Onnes, éste creyó firmemente que gracias a la corriente sin resistencia se crearían un día muchos aparatos útiles. Dos de las aplicaciones potenciales de las que más a menudo se habla son los trenes levitantes y las líneas de transmisión eléctrica superconductoras. El interés activo por descubrir materiales que superconduzcan a temperaturas más convenientes todavía podría hacer que el descubrimiento de Onnes formara parte de la vida diaria.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

THE QUEST FOR ABSOLUTE ZERO: THE MEANING OF LOW-TEMPERATURE PHYSICS. Kurt Mendelssohn. Taylor and Francis, 1977.

SUPERCONDUCTIVITY: DISCOVERIES DURING THE EARLY YEARS OF LOW TEMPERATURE RESEARCH AT LEIDEN 1908-1914. Rudolf de Bruyn Ouboter en *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. 23, núm. 2, págs. 355-370; marzo de 1987.

THE PATH OF NO RESISTANCE: THE STORY OF THE REVOLUTION IN SUPERCONDUCTIVITY. Bruce Schechter. Simon & Schuster, 1989.

SUPERCONDUCTIVITY: THE NEXT REVOLUTION? Gianfranco Vidali. Cambridge University Press, 1993.

THE DISCOVERY OF SUPERCONDUCTIVITY. Jacobus de Nobel en *Physics Today*, vol. 49, núm. 9, págs. 40-42; septiembre de 1996.

Metales que se comportan como plásticos

Gracias al fenómeno de la superplasticidad, podemos estirar un material como si fuera caucho. Esta propiedad la presentan ciertos metales cuando se encuentran a una temperatura cercana a la mitad de su punto de fusión

Gabriel Torres Villaseñor

Desde el término de la segunda guerra mundial la humanidad ha vivido una era en la que nuevos materiales con propiedades sorprendentes han marcado el avance técnico de los países desarrollados. Del tronco de esa era brotó una rama, la de los materiales "super". Ellos han traído los superconductores, las superaleaciones, los superelásticos y los superplásticos. Del último vamos a ocuparnos aquí.

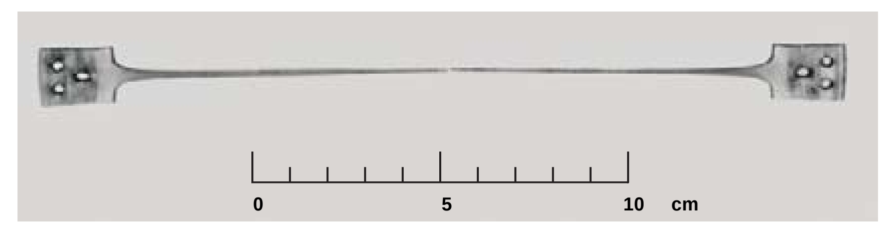
Llamamos superplástico a un metal que puede deformarse en tensión sin que aparezcan en la región extendida constricciones o "cuellos". Algunos metales superplásticos alcanzan deformaciones de hasta un 10.000 por ciento sin romperse, es decir, lo estiramos hasta alcanzar 100 veces su longitud original. Los metales comunes muy dúctiles (aluminio, oro) sólo pueden estirarse un 100 por ciento antes de romperse. La deformación del metal superplástico semeja el estiramiento observado con vidrio caliente: la parte deformada no presenta cambios en su diámetro.

En la naturaleza hay muchos ejemplos más de deformaciones superplásticas que se salen de nuestro interés. M. C. Paterson ha encontrado indicios de la existencia, a 400 kilómetros por debajo de la corteza terrestre, de deformaciones superplásticas en las capas de olivino. Paterson sugiere también que el movimiento de los glaciares podría deberse a deformaciones superplásticas de las capas inferiores de hielo.

Aunque el vidrio caliente y los termoplásticos muestran un comportamiento superplástico, no se les aplica este término. Por una razón fundamental. A diferencia de la estructura que caracteriza a metales y cerámicas, ni la del vidrio ni la de los termoplásticos es cristalina. En una estructura cristalina los átomos se distribuyen en una disposición ordenada. El adjetivo "superplástico" se aplica a materiales cristalinos que, a una temperatura dada, se comportan como los plásticos.

Podría suponerse que estos metales con tales propiedades son un producto de la era moderna. Nada menos cierto. Pudo habérsele sacado partido a ese fenómeno en la edad de bronce. En Turquía se han descubierto bronces superplásticos que contienen hasta un 10 por ciento de arsénico. Otro caso son las famosas espadas de Damasco, anteriores al siglo XI. Este acero es muy similar, en su microestructura, al moderno acero superplástico desarrollado por Sherby y J. Wadsworth en 1973.

La primera noticia sobre el comportamiento superplástico de un metal apareció en 1912. En un artículo de G. D. Bengough se describía el estiramiento de latones fabricados con aleaciones de cobre y cinc, a la manera del vidrio caliente. Este trabajo marca el inicio de los estudios sistemáticos de la superplasticidad. Entre 1912 y 1940 se publicaron algunos estudios aislados y dispersos sobre la ductilidad anormalmente alta de ciertos metales. Pearson incluyó una impresionante fotografía de una probeta enrollada en el artículo que firmó en el *Journal of the Institute of Metals* (1934). Se trataba de una aleación de bismuto y estaño deformada en un 1950 por ciento: la probeta, de 10 cm de largo en el comienzo, se había estirado sin fracturarse hasta alcanzar casi dos metros.



1. DEFORMACION SUPERPLASTICA de un material. Esta aleación de cinc y aluminio se ha deformado hasta en un 1900 % a 240 grados C.

A pesar del éxito de estos experimentos iniciales que demostraban la posibilidad de obtener grandes deformaciones en los metales, el fenómeno no despertó especial interés entre los expertos occidentales. Sí, empero, en la antigua Unión Soviética. En 1945 Bochvar comenzó una intensa investigación sobre la superplasticidad, punto de arranque de numerosos trabajos relacionados con la extraña alta ductilidad de algunas aleaciones metálicas. Así nació el primer instituto dedicado exclusivamente a la superplasticidad. Los trabajos iniciales de Bochvar aparecieron ese mismo año de 1945 y se resumieron en inglés en 1947 para los *Chemical Abstracts*. En el título del primer resumen se daba ya nombre al fenómeno: "superplasticidad" en aleaciones de cinc y aluminio.

Los resultados de la escuela rusa dejaron claro que, para que un metal presentara superplasticidad, era necesario que estuviera formado por granos con dimensiones inferiores a los 10 micrometros (µm), es decir,

unas diez veces menores que los granos normales de un metal de uso común. Se observó también que la deformación no se llevaba a cabo por deslizamiento de planos atómicos asistido por dislocaciones, mecanismo considerado hasta entonces normal; antes bien, se producía por resbalamiento de un grano sobre otro, tal como sucede con los granos de arena o de sal.

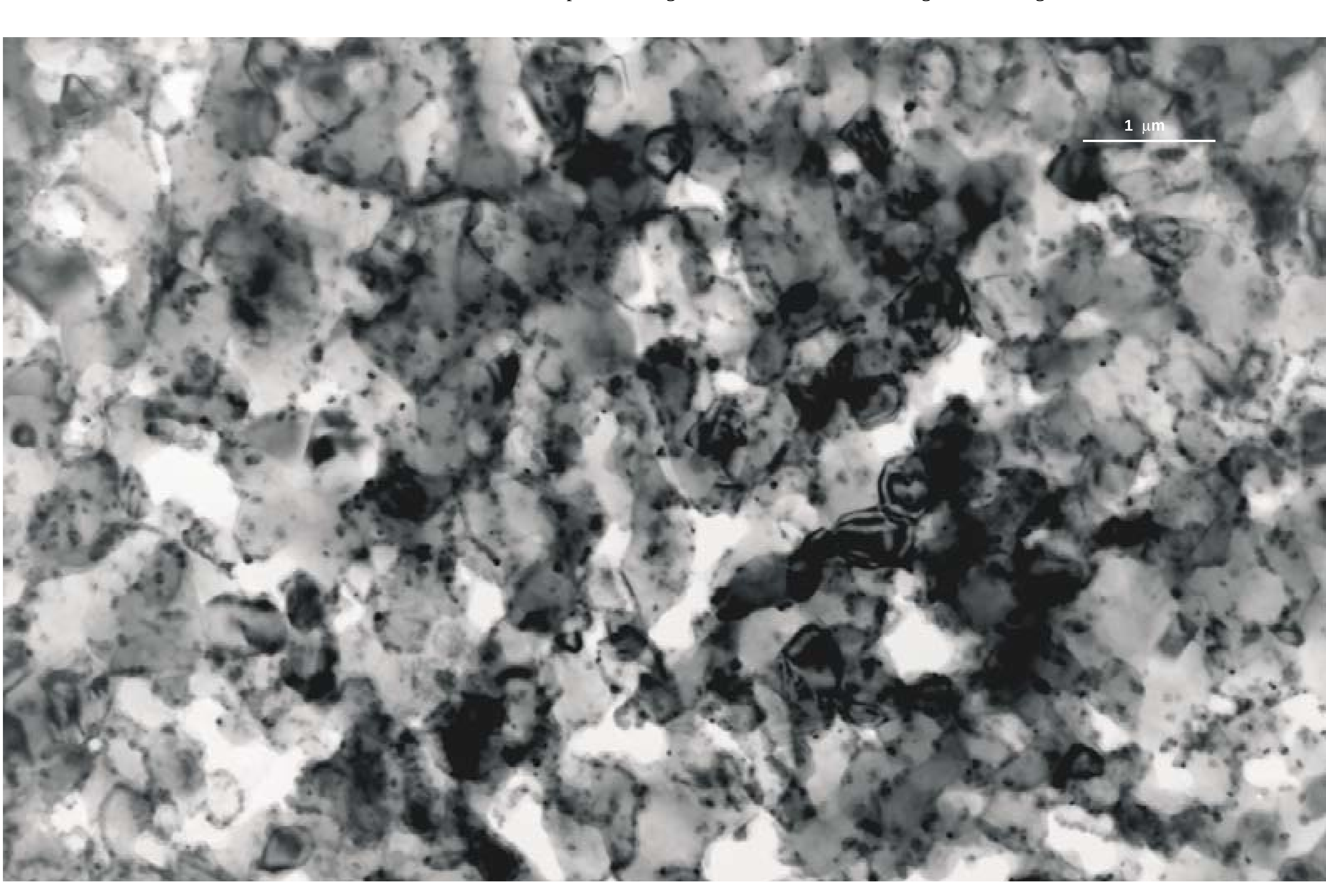
El primer libro sobre superplasticidad fue escrito en ruso por Presnyakov, en 1969. Traducido al inglés en 1976, se dedicaba casi la mitad del mismo a investigaciones propias y el resto incluía resultados de autores de otras partes del mundo.

El mundo occidental comenzó a interesarse por la superplasticidad a principios de los sesenta. En 1962, aparecía un artículo sobre el tema, escrito por Underwood en el *Journal of Metals*. Hacía allí una revisión del trabajo realizado dentro y fuera de la ex Unión Soviética. El informe llamó la atención de Backofen y su grupo, del Instituto de Tecnología de Massachusetts. Este equipo abordó las aleaciones de Zn-Al y Pb-Sn. Demostró que era posible dar forma a láminas de estas aleaciones mediante aire a presión; obtuvieron así esferas y otras geometrías. Este espectacular ejemplo contribuyó al rápido desarrollo de las investigaciones sobre superplasticidad, entre ellas las que pusieron de manifiesto la posibilidad de conformar las aleaciones por métodos semejantes a los usados para los plásticos, como el método del termoformado.

El termoformado de plásticos consiste en dar forma a una lámina de plástico caliente, utilizando presión de un gas, para embutir al plástico contra el molde. Es un proceso barato y de baja energía; algunas veces se hace el vacío entre la lámina y el molde para facilitar el conformado.

Pero el conformado superplástico clásico presenta algunos inconvenientes. Por ejemplo, sólo puede lograrse a muy bajas velocidades de deformación y a una temperatura correspondiente a 0,5 de la temperatura de fusión expresada en grados kelvin. Cuando se pretende deformar rápidamente, para aumentar la tasa de producción, se pierde el efecto superplástico.

En la década de los ochenta se demostró que los materiales de extrema fragilidad como: cerámicas, materiales intermetálicos, materiales geológicos y aun los hielos polares, podían presentar efectos atribuibles a la superplasticidad. La primera demostración concerniente a las cerámicas se le acredita a los japoneses Wakai, Sakaguchi y Matsuno. En 1986 publicaron un trabajo donde mostraban que, al estirar probetas cerámicas formadas de una aleación de dióxido de circonio con trióxido de itrio, se lograban alargamientos del 120 por ciento a 1450 grados C, sin que quedaran señales de constricciones a lo largo de la región estirada. Más



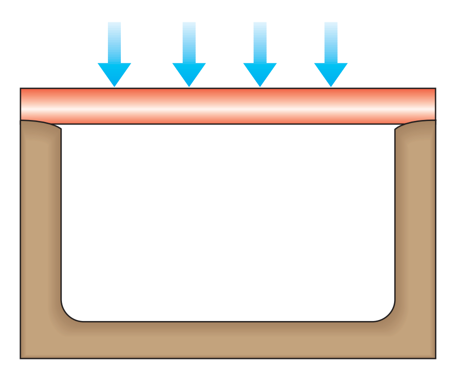
2. EL SECRETO DE LA SUPERPLASTICIDAD se encuentra en la finura de los granos del material. En la figura se muestra la microestructura de una aleación superplástica de zinalco (Zn-Al-Cu) formada por la unión de granos con dimensiones menores a un micrometro, observada por microscopía electrónica de transmisión.

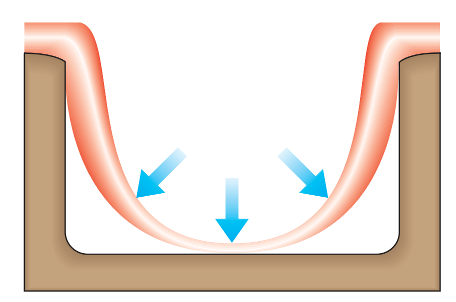
tarde se lograrían deformaciones cercanas al 1000 por ciento en estos materiales. Hoy, todos los materiales pueden llevarse al estado superplástico, incluidos las cerámicas y los hierros de fundición, muy frágiles como se sabe.

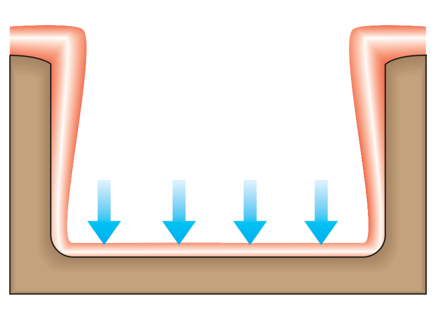
Al observar al microscopio una superficie metálica bien pulida y atacada químicamente, encontramos que los metales no son continuos, sino que se constituyen mediante la unión de mosaicos denominados "granos". En algunos casos, así en la lámina galvanizada, estos granos resaltan a simple vista. El tamaño del grano puede modificarse para mejorar la resistencia mecánica. En el desarrollo de técnicas que alcancen finuras de granos de menos de 10 µm se esconde uno de los principales retos de la superplasticidad.

El descubrimiento de la superplasticidad se logró en aleaciones que, al enfriarse, ya sea desde su estado líquido o de una fase sólida de alta temperatura, automáticamente producen granos de finura suficiente para lograr el efecto superplástico. Fueron las aleaciones superplásticas de primera generación. Abarcaban aleaciones con composición eutéctica de los sistemas Cd-Zn, Cd-Bi, Bi-Pb, Pb-Sn que, al solidificar, producen una separación de fases en forma fina. Incluíanse también en esa primera categoría sistemas de composición eutectoide que, como la aleación de cinc y aluminio, al enfriarse rápidamente desde su fase sólida de alta temperatura, forma granos finos a través de una descomposición de esa fase a temperatura ambiente.

Más difícil resultó dar el paso hacia los superplásticos de segunda generación, es decir, conseguir granos finos en aleaciones con dos fases, que no se producían naturalmente. La solución se encontró rompiendo las fases que componen la aleación por medio de procesos de laminación y extrusión. Se lograron así aleaciones







3. METODO sencillo de termoformado sobre una lámina caliente. La presión atmosférica realiza el trabajo de una máquina en una lámina que, al enfriarse a temperatura ambiente, tiene la resistencia de un acero.

superplásticas bifásicas, en aleaciones de titanio, circonio, aceros de fundición y latones. En el proceso de laminación, el material en forma de planchón frío o caliente se adelgaza, al forzársele a pasar entre dos rodillos giratorios. En la extrusión el material caliente, en forma de cilindro (tocho), se comprime contra un dado que tiene un orificio o varios, con una geometría predeterminada (redondo, cuadrado, angular, etc.), por el cual el material sale en forma de barras o perfiles con la geometría del orificio.

Pero se puede también inducir la estructura superplástica centrándose en la tendencia que tienen los materiales deformados en frío a crear, por recristalización, granos nuevos y libres de esfuerzos, cuando se calientan a temperaturas cercanas a la mitad de su punto de fusión (expresado en grados kelvin). Los metales deformados liberan sus esfuerzos a esta temperatura y aparecen granos nuevos, que al principio son muy pequeños y que con el tiempo crecen. Si se enfría el material antes de que empiece el proceso de crecimiento, obtenemos un material con granos ultrafinos, apto para presentar efectos superplásticos.

La preparación de polvos finos por molienda, métodos químicos o el proceso de sol-gel, permite disponer de mezclas de polvos con dimensiones de décimas o centésimas de micrometro. Estas mezclas se consolidan con presión y temperatura adecuadas para obtener materiales metálicos o cerámicos con propiedades superplásticas.

Aunque queda todavía mucho por avanzar en la investigación sobre el mecanismo que origina la superplasticidad, se conoce ya más de un centenar de aleaciones con comportamiento superplástico, no todas realmente nuevas. Oleg D. Shervy publicó en 1973 que había inventado el acero superplástico a partir del hierro de fundición. La noticia abría la posibilidad de obtener piezas de hierro conformadas con muy baja energía; sin embargo, al comparar las microestructuras de su aleación con algunas tomadas de aceros de las famosas espadas de Damasco, se encontró que eran del mismo acero. El secreto de su fabricación, guardado a lo largo de tantos siglos, había sido revelado, al tiempo que se demostró que la técnica no era nueva.

La metalurgia antes de 1900 se consideraba un arte y no una ciencia. Por eso, muchas técnicas desarrolladas tras múltiples pruebas quedaban celosamente guardadas por sus descubridores. El acero de Damasco del siglo XI se basaba en hierro de fundición que preparaban los hindúes con técnicas secretas que consistían, según se supo recientemente por investigaciones arqueológicas, en depositar hierro en ánforas de cerámica y taponearlas con carbón. Las ánforas se sometían al fuego durante largo tiempo, para que el carbono se difundiera en el hierro. La entrada de carbono en el hierro baja el punto de fusión del hierro puro (1538 grados C) hasta 1148 grados; es decir, el hierro con 4 por ciento de carbono se funde a esta última temperatura, que podían alcanzar los hindúes con sólo usar carbón. Para saber que estaban en la composición correcta les bastaba con "agitar" el ánfora y así advertir la conversión a líquido de su material, que de hecho era un hierro de fundición.

GABRIEL TORRES VILLASEÑOR es decano del Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se dedica al estudio de aleaciones metálicas no-ferrosas, en especial del cinc. Ha obtenido diversos premios por sus investigaciones en metalurgia, entre los cuales se encuentra el premio "M. Noriega" de la Organización de Estados Americanos (1984) y el premio Nacional de Ciencias y Artes otorgado por el gobierno de México.

Los lingotes obtenidos se vendían a los árabes, quienes a través de un proceso repetido de forja en caliente, forja que persistía hasta que se enfriaba el hierro, separaban el hierro del grafito; quedaban granos finos de hierro y grafito. Este debió de ser el proceso, ya que algo similar con métodos modernos de laminación usó Shervy en Stanford. Para obtener la lámina de acero superplástico Shervy inició la laminación de hierro de fundición a 900 grados C y siguió laminando en forma continua, mientras el hierro se iba enfriando hasta llegar a un último paso de laminación a temperatura ambiente.

Para la industria de la mecanización de los metales el conformado superplástico promete ser una revolución. El conformado superplástico consiste en deformar láminas del metal superplástico, utilizando sólo presión de un gas y un molde. En la actualidad se ha aplicado con éxito a la fabricación de puertas y diversas partes de aviones supersónicos de guerra. El ahorro ha llegado a ser hasta de un 40 por ciento con respecto al conformado tradicional. Por supuesto que en este caso la aleación es ligera y resistente a altas temperaturas, como la aleación basada en titanio-aluminio-vanadio. Las aleaciones superplásticas que más futuro tienen son las que se fundan en los metales más abundantes en la corteza terrestre, como son el hierro y el aluminio.

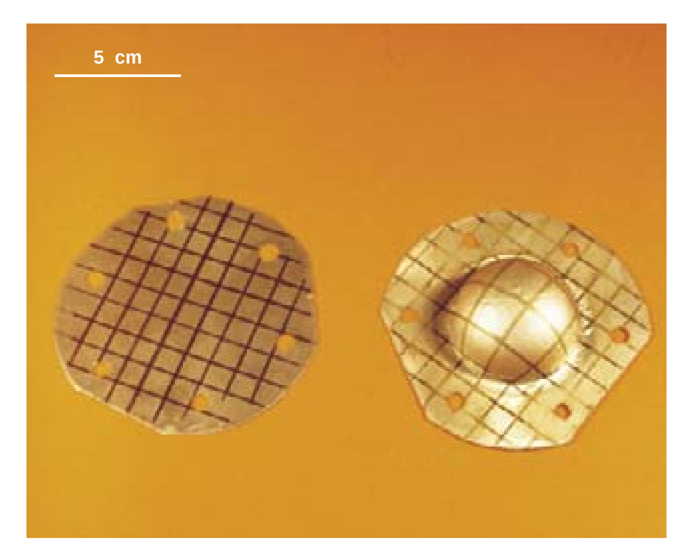
Sin embargo, las aleaciones superplásticas más sencillas de fabricar y con propiedades mecánicas semejantes al acero estructural son las basadas en el eutectoide cinc-aluminio, como la aleación denominada zinalco[MR] que es la composición eutectoide del sistema Zn-Al modificada con 2 por ciento de cobre. El cinc es un metal que abunda en Perú y México, lo mismo que el cadmio, el bismuto y el plomo. Todos estos últimos metales tienden a desaparecer del contexto industrial, ya que cada vez se usan menos. Aprovechando sus propiedades superplásticas podrían volver a ser competitivos en el terreno industrial, ya que tienen la capacidad de sustituir plásticos en diversas aplicaciones con la ventaja de ser 100 por ciento reciclables. Sólo contaminan el ambiente si están en forma de vapor; en estado sólido son inocuos.

Existen ya aleaciones superplásticas comerciales con aplicaciones arquitectónicas. Lo observamos en las aleaciones de aluminio. Al7075 y supral permiten deformaciones de hasta un 1000 por ciento a los 510 grados C y la aleación Zn-22Al ofrece deformaciones de hasta un 3000 por ciento a los 200 grados C. En el Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Autónoma de México hemos desarrollado métodos para deformar superplásticamente al zinalco, hasta en un 500 por ciento, lo que lo hace susceptible de grandes aplicaciones, desde la fabricación de envases para bebidas hasta la fabricación de una carrocería de automóvil, en la que se evitarían soldaduras y el uso de grandes prensas para moldear. La lámina de zinalco, con espesor alrededor de un milímetro, se coloca en forma de tapadera de un molde que tiene la figura deseada, se evacua el molde con una bomba de vacío y se calienta la lámina hasta los 250 grados C. Lentamente la presión atmosférica irá empujando la lámina contra el molde hasta que tome la forma de éste.

El proceso superplástico de deformación del zinalco permite unir o soldar piezas por difusión durante su conformado. Este tipo de unión, denominado soldadura por difusión, se logra gracias a la gran cantidad de fronteras de grano que hay en las aleaciones de grano muy pequeño. La difusión o paso de materia de una parte a otra se facilita al moverse los átomos cómodamente entre las uniones de los granos (fronteras de grano) dando lugar a una soldadura muy fuerte y casi perfecta.

Por tener los superplásticos mecanismos de deformación más parecidos a los plásticos que a los metales, resulta lógico que se recurra a técnicas de termoformado para su conformación. El material más adecuado para esta aplicación es la lámina. Las técnicas del termoformado permiten el uso de la presión atmosférica y vacío con láminas de un espesor máximo de 1 milímetro, y presiones de gas de 1 a 20 atmósferas para láminas más gruesas. El método elimina las costosas herramientas hidráulicas o mecánicas, con la consiguiente reducción en inversión de capital en equipo. Los termoformados de aleaciones superplásticas de Cd-Zn, realizadas a 80 grados C, podrían competir con los plásticos, con la ventaja añadida de ser completamente reciclables.

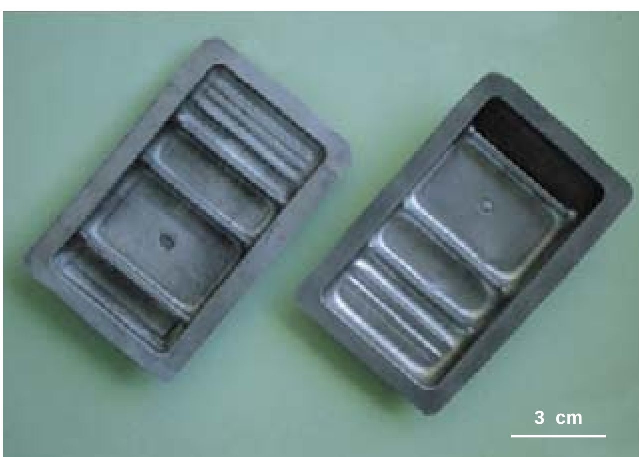
Otra ventaja del proceso de termoformado de metales estriba en que las componentes de formas complejas pueden fabricarse en una sola ope-





4. DEFORMACION SUPERPLASTICA lograda en zinalco con el método de termoformado. Se muestra la lámina original antes y después de deformar (*izquierda*). La cuadrícula nos ayuda a verificar que sólo se deformó el material del centro. A la derecha, ejemplo de la gran deformación producida con el auxilio exclusivo de la presión atmosférica.







5. EJEMPLOS DE GEOMETRIAS logradas por deformación superplástica de aleaciones de cadmio y cinc a una temperatura de 80 grados C. Estas aleaciones son más resistentes que los plásticos.

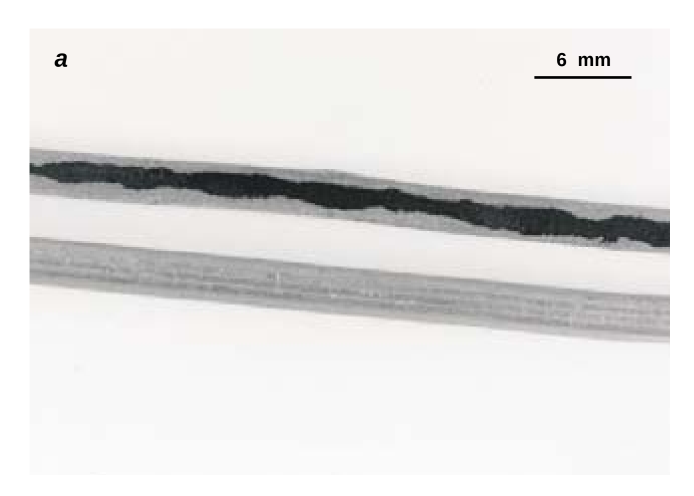
ración, en tanto que otros métodos implican varias etapas sucesivas o ensamblados de partes menores. El costo de matricería es relativamente bajo, pues con una sola matriz basta para toda una producción, ya que no hay desgaste por golpes u otra clase de esfuerzos. Si se emplea un metal superplástico de baja temperatura, como es el caso del zinalco o aleaciones de cadmio-cinc, bismuto-plomo, el material de las matrices puede ser incluso de yeso.

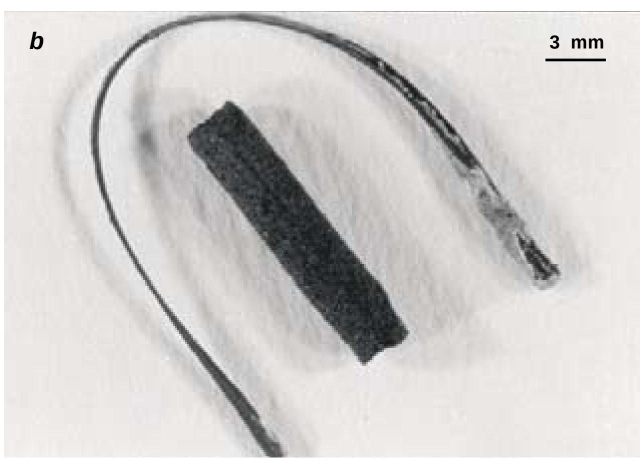
Por ser el conformado superplástico un proceso muy sencillo, los países en vías de desarrollo podrían colocarse en una situación privilegiada. El inconveniente del proceso reside en la baja productividad en piezas por unidad de tiempo; en la confección de cada pieza se tardan varios minutos. Pero puede aumentarse la rentabilidad del proceso cuando se trabaja a presión atmosférica y pueden conformarse distintas piezas simultáneamente. En el caso del zinalco y los superplásticos basados en cadmio, bismuto o plomo, el calentamiento puede efectuarse incluso con energía solar.

Con todo, podrían fabricarse materiales superplásticos que admitan una conformación más rápida. El secreto está en modificar la microestructura del material de suerte tal que deslicen mejor los granos. Ello se logra reduciendo el tamaño del grano. Cuando el grano se afina, el flujo superplástico se incrementa y desaparece cualquier otro mecanismo de deformación. Para obtener materiales con granos ultrafinos, es decir, de menos de 1 µm de diámetro, se emplean polvos preparados por métodos químicos o de sol-gel. Los polvos, mezclados mecánicamente, se consolidan en un molde con una prensa hidráulica. A este respecto, la mezcla de polvos de aluminio del tipo 2124 con 20 por ciento de polvos de carburo de silicio se comporta superplástica a una tasa de deformación similar a la observada en los procesos de forjado.

Gracias al método de mezcla de polvos se han fabricado materiales cerámicos que pueden deformarse hasta 1000 por ciento, en tensión, desechando el viejo prejuicio del carácter frágil de las cerámicas. De hecho, las cerámicas de polvos de óxido de circonio tetragonal combinado con 3 por ciento de óxido de itrio se deforman hasta 800 por ciento a 1450 grados C. Este material cristalino, que funde a más de 2000 grados, no suele reblandecerse al aproximarse a su punto de fusión, ya que su estructura cristalina se mantiene rígida. Nada tiene, pues, de extraño que las técnicas superplásticas hayan encontrado amplia aplicación en el conformado de cerámicas.

Con el descubrimiento de las cerámicas superconductoras (csc), se planteó la posibilidad de obtener alambres a partir de ellas para la





6. APLICACIONES DE LA SUPERPLASTICIDAD en la deformación de la cerámica superconductora basada en óxidos de itrio-bario-cobre (YBaCuO). Una barra sólida del superconductor se embebe en una matriz de metal superplástico y se extruyen conjuntamente para obtener el alambre mostrado en (*a*). Podemos doblar el alambre sin romper el núcleo de cerámica, como se puede observar en (*b*), en donde el metal se eliminó usando ácido después de doblarlo.

fabricación de bobinas. En el Instituto de Investigación de Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México desarrollamos un proceso que consiste en embeber una barra de csc del tipo YBaCuO en una matriz de metal superplástico (msp), como el cadmio-cinc. Se encontró que al deformar el conjunto csc-msp, la cerámica se deformaba plásticamente al igual que el metal; y lo hacía hasta un 300 por ciento. El proceso de extrusión del conjunto constituyó un éxito añadido, con lo que conseguimos "alambres" de material superconductor, forrados con el metal superplástico. Los alambres resultantes podían doblarse y enrollarse sin que la cerámica interior se rompiera. Lo comprobamos al eliminar el "forro" metálico, disolviéndolo en ácido; aparecía el alambre cerámico con la forma de horquilla que se le había dado antes de eliminar el metal. Nos queda todavía un problema por resolver: lograr una sección uniforme en la cerámica superconductora.

Durante el conformado superplástico de esas cerámicas puede aparecer el fenómeno de la cavitación, o formación de huecos dentro del material. Suele presentarse cuando se sobrepasa un 500 por ciento de deformación. Estos huecos que se forman por causa del deslizamiento de los granos debilitan al material, limitando así sus aplicaciones. Aunque a veces se ha obviado la cavitación recurriendo a la presión hidrostática durante el conformado, no suele ser un método práctico.

Aunque no dominemos todavía los principios de los mecanismos microscópicos que originan la deformación superplástica, podemos diseñar procesos que permitan obtener productos industriales aprovechando las propiedades superplásticas de los metales. Se abre así un nuevo capítulo en el conformado de metales, que cambiará por completo el panorama actual de la industria.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTARIA

SUPERPLASTICITY IN METAL, CERAMICS AND INTERMETALLICS. M. J. Mayo, M. Kobayashi y J. Wadsworth. MRS Symposium Proceedings, vol. 196, Pittsburgh Penn. 1990.

SUPERPLASTICITY. K. A. Padmanabhan y G. J. Davies. Springer-Verlag, Berlín, 1980.

TALLER Y LABORATORIO

Shawn Carlson

El algoritmo de los dioses

Hubo un tiempo en que me pasaba el día (y quiero decir todo el santo día) persiguiendo supernovas. El grupo de astrofísica para el que yo trabajaba desempolvaba un viejo telescopio de 75 centímetros, a la sazón empleado sólo en la enseñanza, y lo convertía en instrumento de investigación completamente automatizado. Al llegar la noche, aquella maravilla controlada por ordenador despertaba, comprobaba sus mecanismos y emprendía sus actividades descubridoras. En las noches despejadas escudriñaba centenares de galaxias, en busca de objetos de luminosidad estelar y que no se hubieran detectado en imágenes anteriores.

Era estupendo. Y no me pesaba pasar una noche entera al borde de la congelación en un remoto observatorio. Durante meses me había empleado a fondo enseñando al ordenador del telescopio cómo decidir acerca de las galaxias de las que debía formar imágenes y en qué orden tenía que hacerlo. Puesto que las grandes expediciones, de horizonte a horizonte, resultaban excesivas para el envejecido sistema de accionamiento del telescopio (había cumplido los 40 años), era vital que aquella pieza de museo se moviera lo menos posible. Suponía ello que había que ordenar las galaxias en una secuencia tal que, a lo largo de una noche entera, el telescopio barriera el ángulo menor posible. Los aficionados al ordenador reconocerán en mi problema con las galaxias una variante del problema clásico del viajante, en el que se trata de visitar un número de ciudades siguiendo el itinerario más corto.

La minimización del movimiento del telescopio parecía tarea inabordable. Hay unas 10^{375} formas de ordenar 200 galaxias, un mazo perfectamente normal de cualquier anochecer para nuestro telescopio. (A quien interese, 10^{375} es mayor que factorial de 200.) Para averiguar la vía de ordenar las galaxias cuya búsqueda menos fatigara al telescopio, tendríamos que comprobar todas las ordenaciones posibles. Por desgracia, esa tarea no podrían ejecutarla ni todas las supercomputadoras del mundo trabajando día y noche durante *mil trillones* de años.

En la práctica, una solución que quede dentro de un porcentaje de la ideal es perfectamente aceptable. Los expertos vienen en nuestro auxilio con un algoritmo que han ideado, capaz de hallar soluciones de esa índole a numerosos problemas que se dirían imposibles. El algoritmo de que hablamos permite que un ordenador portátil alcance la solución en pocos minutos, contribuyendo así poderosamente al arsenal de herramientas de los científicos aficionados.

El recocido simulado, así se llama el algoritmo, es una combinación singular de ingenio humano y eficacia natural. En 1953, un grupo encabezado por el físico matemático Nicholas Metropolis desarrolló el procedimiento, aunque su uso no se generalizaría hasta hace poco. El método de Metropolis se aplicó a la resolución de problemas del tipo del viajante imitando en un ordenador el proceso por el cual las redes cristalinas de los metales se relajan de sus



La investigación de las galaxias fue posible gracias a un algoritmo celeste

tensiones internas con el calor. En eso consiste el proceso de recocido.

Aunque el modelo se espeja en el método del recocido, los principios fundamentales son los mismos que gobiernan el desarrollo de los cristales, algo más fáciles de entender. En una solución de agua azucarada, las moléculas vagan al azar. Si la temperatura baja bruscamente, las moléculas de azúcar se solidifican en un engrudo informe. Pero si la temperatura desciende poco a poco, las moléculas forman un cristal ordenado y de un tamaño miles de millones de veces mayor que cualquier molécula.

Con las moléculas inmóviles y en su nivel mínimo de energía dentro de la red cristalina, el cristal se encuentra en su estado energético más bajo. (Lo que corresponde, en nuestro problema, a la ordenación de galaxias que requiere el mínimo movimiento del telescopio.) De modo natural, el sistema progresa hacia ese mínimo de un modo un tanto inesperado y notable. En condiciones naturales, las moléculas se distribuyen en un intervalo de energías cinéticas. Conforme disminuye la temperatura, baja la energía cinética media. Pero algunas moléculas permanecen en estados energéticos altos, aun cuando la mayoría se mueva con suficiente lentitud para depositarse en el cristal. Cuando las moléculas de energías más bajas “remolonean”, muchas veces se traban en estados con exceso de energía y no en los estados de energía mínima que les son propios.

Pero las moléculas que se hallan en estado energético alto pueden arrojar las moléculas atrapadas en estados de enlace energético impropios hacia estados de energía más baja. Merced a semejante transferencia de energía de molécula a molécula, se favorecerá una redistribución molecular conforme se va enfriando la solución. Ello implica el desplazamiento de las aristas de crecimiento del cristal, con la posibilidad consiguiente de que las moléculas que se depositen en ellas encuentren el estado de energía mínima. Este crecimiento ordenado de los cristales acontece únicamente durante un enfriamiento lento, porque las moléculas tardan mucho en hallar el estado de energía mínima.

¿Y esto qué tiene que ver con el problema del viajante? Para aplicar el método de Metropolis, hay que plantear la cuestión como si se tratara de la búsqueda de una secuencia. En el problema del viajante se trataba de determinar el mejor orden en que

Revelación del algoritmo de los dioses

Procedimiento para ejecutar un recocido simulado

Algoritmo del programa básico

PSEUDOCODIGO	NOTAS
{	
Iniciar()	Crea la lista inicial y establece las variables necesarias
para (i = 1; i <= 100; i = i + 1)	Tantea hasta 100 temperaturas distintas
{ numSec = Recocer()	Recuece la lista a esa temperatura; devuelve el número de alteraciones con éxito realizadas
si (numSec == 0) acabar	Si no se hallaran mejoras, se acabó
temperatura = temperatura × 0,9	Reduce la temperatura en un 10 por ciento
}	
Imprimir Resultados()	
}	

Algoritmo de inicialización (crea la lista inicial y establece la temperatura inicial)

```
{
  CrearListaInicial (list)
  energía = elegirEnergía (list)
  temperatura = energía/número de elementos de la lista
  LimitEjec = 100 × número de elementos de la lista
  secLímite = 10 × número de elementos de la lista
}
```

Algoritmo del recocido (recuece la lista a una temperatura para hallar la mejor solución)

PSEUDOCODIGO	NOTAS
{	
numSec = 0	Número de cambios conseguidos a la lista
para (I = 0; i <= LimitEjec; i = i + 1){	Hacer hasta “LimitEjec” intentos a la temperatura presente
ElegirFragmento (inicio, fin, puntInserc)	Elegir al azar una sección de lista para alterar
alteración = CaptarAlteración()	Decidir al azar si invertir el fragmento o trasladarlo
difE = difEnergía (alteración)	Calcular el cambio de energía si se realiza la alteración
respuesta = Oráculo (difE, temperatura)	Decidir si la lista actual se sustituye por la nueva
si (respuesta == SI){	Si el algoritmo oráculo dice de alterar la lista...
AlterList()	... alterarla permanentemente
numSec = numSec + 1	¡Otro éxito!
}	
si (numSec >= limitSec) acabar	Si hubo éxitos suficientes, salir de este bucle para que se pueda bajar la temperatura
}	
devolver numSec	
}	

Algoritmo del oráculo (decide si aceptar o no una lista propuesta nueva)

PSEUDOCODIGO	NOTAS
{	
si (difE < 0) devolver SI	Guardar siempre una lista nueva si ésta posee una energía menor que la antigua
si (azar() < exp(-difE/temperatura))	Después, emplear el coeficiente de Boltzmann para decidir si debe guardarse una lista de energía más alta. Obsérvese que azar() devuelve un número aleatorio entre cero y uno
devolver NO	Si falla todo lo demás, rechazar la lista
}	

debía visitar una lista determinada de plazas comerciales. Con un poco de ingenio, podremos traer a semejante formulación problemas muy dispares. Es asimismo necesario generar un número que revele la calidad del resultado que ofrece una secuencia y tal que, cuanto mejor sea la solución, menor sea el número. Este es análogo a la energía del cristal en el ejemplo del crecimiento de los cristales. En mi caso de la búsqueda de supernovas, la secuencia era el orden en que buscar las galaxias; el número análogo a la energía era el ángulo total que el telescopio tenía que cubrir.

En el recuadro de la página anterior se describe el algoritmo. Calcula los niveles de energía representados por diferentes secuencias, o "trayectorias". Si una secuencia nueva posee una energía más baja que la precedente, el programa la adopta siempre. Volviendo al ejemplo del crecimiento del cristal, una trayectoria de baja energía corresponde a una o más moléculas que encuentran su camino hacia una posición de energía más baja en la red. ¿Y qué pasaría con una trayectoria de energía mayor? He ahí lo interesante. El programa no rechaza por principio las trayectorias de mayor energía; al fin y al cabo, el desplazamiento de una molécula atrapada en un estado de energía más alta en una red constituye un ejemplo de trayectoria de mayor energía; tales situaciones constituyen la almendra del procedimiento.

Sin embargo, no entra dentro de lo probable que todas las trayectorias de energía más alta empujen el sistema hacia un estado de energía más baja. Para determinar las trayectorias que sí lo impulsan, el método recurre a la distribución de probabilidades de Boltzmann. Este factor determina la probabilidad de hallar un sistema, sea una molécula o un grupo de moléculas, que esté a determinada energía E a una temperatura dada T. Aplicada a un recocido simulado, esta probabilidad resulta ser el número e (una constante, igual a 2,7183 aproximadamente, que aparece a menudo en física y otros campos) elevado a la potencia $(-\Delta E/kT)$, donde k es el coeficiente de Boltzmann, que relaciona la temperatura con la energía, y ΔE es la diferencia de energía entre las dos trayectorias.

Un truco ingenioso permite alterar la lista sin tener que recalcular la energía cada vez desde el principio. La alteración comienza por seleccionar al azar una subsección de la lista. Entonces, se invierte el orden de los elementos de la subsección o ésta se extrae para reinsertarla en otro lugar aleatorio de la lista. La energía asociada a la subsección no varía en ninguno de los dos casos; sólo lo hace cuando la fracción en cuestión se une al resto de la lista.

El recuadro del algoritmo contiene el pseudocódigo que expone las rutinas necesarias. El código en lenguaje C correspondiente puede extraerse de la página World Wide Web de la Society for Amateur Scientists.

El recocido simulado no es el único algoritmo que resuelve problemas complicados imitando a la naturaleza. Los algoritmos genéticos simulan la evolución génica para crear ciberorganismos que por sí mismos son soluciones a problemas de investigación [*véase* "Taller y Laboratorio" de septiembre de 1992]. Las redes neuronales (que simulan la actividad cerebral para almacenar información, aprender de la experiencia y efectuar cálculos) son otro campo de investigación intensa.

Todo esto plantea una cuestión fascinante. La naturaleza es mucho más inteligente de lo que nunca seremos los humanos. La simulación en el ordenador de los métodos que sigue la naturaleza para organizar y crear ya ha producido herramientas lo bastante potentes para vencer algunos de nuestros problemas de informática más indomables. Pese a ello, sólo un puñado de soluciones basadas en la naturaleza han hallado réplica en el ordenador. Tiene que haber mucho más en donde inspirarse. El truco está en reconocer los sistemas idóneos en que basar un modelo y en acotar el tipo de problemas que una simulación puede resolver.

Mantengamos los ojos abiertos. Acaso, al contemplar las volutas del humo de un cigarrillo, al observar la organización de las abejas en panales o al estudiar las evoluciones de una bandada de pájaros, pueda el lector descubrir la próxima novedad de peso en la resolución de problemas de computación.

Para extraer el código C que se necesita para ejecutar el algoritmo del recocido simulado, visite la página World Wide Web de la Society for Amateur Scientists en http://www.thesphere.com/SAS/. Para más información acerca de otros proyectos para científicos aficionados, visite la página Web o llame al 800-873.87.67 o al 619-239.88.07.

JUEGOS MATEMÁTICOS

Ian Stewart

Juniper Green

Hará cosa de un año, Ian Porteous, matemático de la Universidad de Liverpool, me habló de un elegante juego. Su hijo, Richard Porteous, lo inventó para enseñar a los niños la multiplicación y la división. El juego se llama Juniper Green, en homenaje a la escuela donde Richard enseñaba. Es ameno de jugar, y la búsqueda de una estrategia ganadora, un auténtico reto.

Para jugar a Juniper Green es necesario construir 100 fichas, numeradas de 1 a 100. Las fichas se colocan sobre la mesa con el valor a la vista, en orden numérico, por ejemplo, dispuestas en 10 hileras de 10 cartas cada una, de modo que a los jugadores les resulte sencillo localizar la tarjeta deseada. He aquí las reglas.

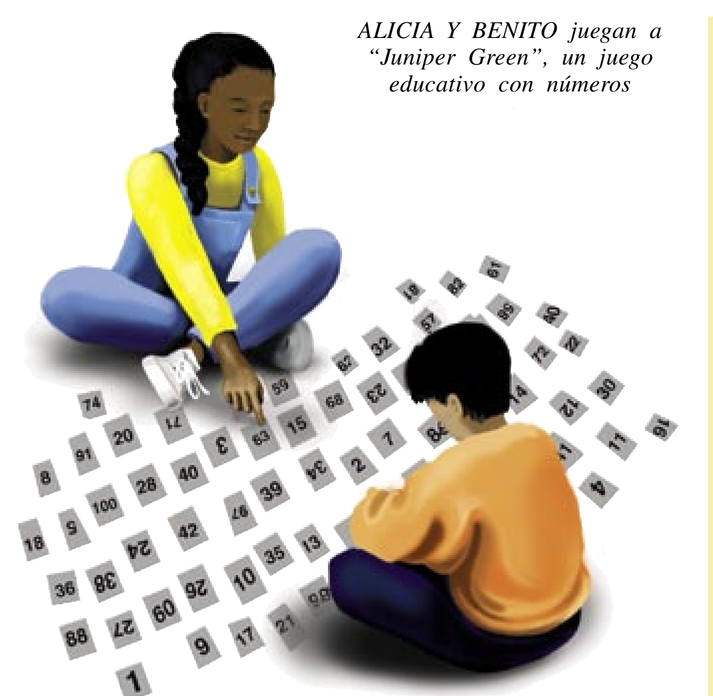
1. Dos jugadores van retirando por turno una ficha de la mesa. Las fichas retiradas no se reponen, ni se pueden volver a utilizar en la partida.
2. Salvo en la jugada de apertura, cada uno de los números elegido tiene, o bien que ser divisor exacto del anterior, o ser múltiplo de él.
3. El primer jugador que no puede elegir tarjeta, pierde.

Hay además una última regla, con el propósito de que valga la pena jugar. Recordemos que un número primo no tiene más divisores que él mismo y la unidad. Ocurre entonces que, si un jugador elige un número primo mayor que 50, es seguro que el otro jugador pierde. Supongamos que sean Alicia y Benito, y que Alicia abre la partida. Elige el 97; Benito está forzado a jugar el 1. Alicia toma ahora otro número primo grande, el 89, por ejemplo. En este momento Benito, que ha gastado ya la tarjeta con el 1, pierde. Para impedir esta estrategia, que hace terminar prematuramente la partida, se exige que:

4. En la jugada de apertura, el número elegido ha de ser par.

Aunque el juego debe empezar con número par, los números primos grandes siguen todavía influyendo en el juego. En particular, si un jugador elige la carta 1, a poco despierto que sea el otro, pierde. Supongamos que Benito elige el 1 y que Alicia responde con un número primo grande —el 97—. (Fijémonos en que el 97 tiene que estar disponible, porque solamente cabe elegirlo si el jugador anterior tomó el 1.) En tal caso, Benito no tiene adónde ir. Así pues, el juego concluye en cuanto un jugador se ve obligado a tomar la carta 1.

En la tabla con fondo de color que adjuntamos se expone una partida de muestra, jugada sin grandes preocupaciones tácticas. Sugiero a los lectores que, llegados aquí, dejen de leer, se construyan una colección de tarjetas y jueguen un ratito. Aunque no voy a descubrir la estrategia de victoria —la expondré más adelante, en la sección de “Acuse de recibo” para no aguar la fiesta a los lectores— sí voy a analizar el mismo juego cuando solamente hay 40 cartas, numeradas de 1 a 40. El análisis proporcionará también buenas indicaciones sobre el juego con 100 cartas. Los niños pequeños podrían utilizar un mazo



ALICIA Y BENITO juegan a “Juniper Green”, un juego educativo con números

JUGADA	ALICIA	BENITO	COMENTARIOS
1	48		Número par, como exige la regla 4
2		96	Doble de la elección de Alicia
3	32		Tercera parte de la elección de Benito
4		64	Benito se ve obligado a elegir una potencia de 2
5	16		Lo mismo le ocurre a Alicia
6		80	
7	10		
8		70	
9	35		División por 2
10		5	Las únicas opciones son 7, 5 (o 1 y perder)
11	25		
12		75	Solamente se dispone de 50 y 75
13	3		
14		81	
15	9		Solamente se dispone de 27 y 9
16		27	¡Mala jugada!
17	54		Obligada, porque 1 pierde
18		2	Obligada
19	62		Variante inspirada en la táctica del número primo grande
20		31	Obligada
21	93		Es la única opción, pero es buena
22		1	Obligada, y pierde, porque...
23	97		Táctica del número primo grande

numerado de 1 a 20. Por brevedad, llamaré “JG-*n*” a la versión del juego con *n* cartas, y buscaré una estrategia de victoria para el JG-40.

Algunas aperturas, evidentemente, pierden enseguida. Por ejemplo:

JUGADA	ALICIA	BENITO
1	38	
2		19
3	1	
4		37
5	PIERDE	

Lo mismo ocurre si la jugada de apertura es 34. También hay algunos otros números que conviene eludir. Supongamos, por ejemplo, que Alicia es tan poco juiciosa que toma el 5. Benito se venga entonces atacándola con un 25. Alicia no tiene más remedio que tomar el 1; pero esta jugada conduce obligadamente a la derrota. (Fijémonos que el 25 tiene que estar disponible todavía, porque sólo puede elegirse si el otro jugador acaba de optar por el 1 o el 5.)

La táctica evidente de Alicia consiste en forzar que sea Benito, por el contrario, quien haya de tomar el 5. ¿Puede lograrlo? Bueno, si Benito toma el 7, ella puede tomar el 35, y Benito está obligado a elegir el 1 o el 5, y ambos le hacen perder. Muy bien. Pero, ¿puede Alicia obligar a Benito a tomar el 7? En efecto: si él elige 3, Alicia puede tomar 21, lo que obliga a responder con 7. De acuerdo; pero, ¿puede conseguir que Benito juegue el 3? Veamos, si él toma el 13, Alicia responde con el 39. Alicia puede proseguir de igual modo, construyendo secuencias hipotéticas que hagan obligada la respuesta de Benito en cada etapa y conduzcan a su inevitable derrota.

Mas, para empezar, ¿puede con sus maniobras encarrilar a Benito hacia una de tales secuencias? En la primera jugada es obligado utilizar números pares, por lo que es probable que el número 2 desempeñe un papel crucial. En efecto, si Benito juega el 2, Alicia puede entonces tomar el 26, forzando a Benito a caer en la trampa de jugar 13. Y ahora llegamos al punto crucial. ¿Cómo puede arreglárselas Alicia para obligar a Benito a jugar el 2?

Si Alicia abre con 22, o bien Benito juega el 2 y queda atrapado en la larga secuencia de jugadas esbozada arriba, o bien toma el 11. Alicia tiene ahora la opción de jugar el 1, y perder, o ir al 33. Cuando ella elige el 33 ya se ha utilizado el 11, por lo que Benito se ve obligado a tomar el 3, y de esta forma Alicia puede ganar. Las jugadas de la tabla resumen la estrategia de Alicia: los dos pares de columnas muestran las opciones que puede elegir Benito. (Supondremos siempre que ambos jugadores procuran evitar el 1.)

JUGADA	ALICIA	BENITO	ALICIA	BENITO
1	22			
2		11		2
3	33		26	
4		3		13
5	21		39	
6		7		3
7	35		21	
8		5		7
9	25		35	
10		PIERDE		5
11			25	
12				PIERDE

Alicia dispone cuando menos de otra posible apertura que le proporciona la victoria: salir con 26. La partida se desarrolla de igual forma, aunque con intercambio de algunas jugadas, como vemos en la lista siguiente:

JUGADA	ALICIA	BENITO	ALICIA	BENITO
1	26			
2		13		2
3	39		22	
4		3		11
5	21		33	
6		7		3
7	35		21	
8		5		7
9	25		35	
10		PIERDE		5
11			25	
12				PIERDE

En este caso, los rasgos cruciales son los números primos 11 y 13. Si la jugada de apertura es el doble de uno de estos números primos (22 o 26), Benito tiene que responder sea con un 2 —momento en el cual Alicia tiene ganada la partida— o con el número primo. Pero entonces Alicia replica con el triple del primo, obligando a Benito a tomar el 3, y Alicia vuelve a ganar. Así pues, Alicia gana porque dejados aparte los dos números primos anteriores, existe exactamente otro múltiplo por debajo de 40, a saber, 33 o 39. Estos “medio primos”, que se encuentran entre la tercera y la cuarta parte del número de tarjetas, permiten ganar a Alicia.

¿Existe alguna otra apertura, amén del 22 o el 26, que también conduzca a la victoria? Dejo la tarea a cargo del lector, quien, además, se encuentra ahora en buena situación para analizar el JG-100, o incluso el ambicioso JG-1000. ¿Existe para el primer jugador una estrategia que le garantice la victoria?

Por último, ha llegado la hora de exponer el problema en toda su generalidad. Fijémonos en el JG-*n* correspondiente a cualquier número entero *n*. Dado que no están permitidos los empates, la teoría de juegos permite asegurar que o bien Alicia, o bien Benito (el primero en jugar), pero no ambos, tiene una estrategia ganadora. Digamos que *n* es “primario” si Alicia dispone para JG-*n* de una estrategia de victoria, y “secundario” si es Benito quien la tiene. ¿Será posible caracterizar qué valores de *n* son primarios y cuáles son secundarios?

En el caso de valores muy pequeños de *n*, unos pocos cálculos rápidos indican que 1, 3, 8 y 9 son primarios, mientras que 2, 4, 5, 6 y 7 son secundarios. ¿Qué podemos decir de $n = 100$? ¿Y en el caso de un *n* completamente general? ¿Habrá quien descubra regularidades? ¿O quien resuelva del todo el problema?

Acuse de recibo

Gran parte del correo que recibí sobre la falacia del interrogador [noviembre de 1996] puso de relieve lo fácil que resulta confundirse con las probabilidades condicionales. Trataré, pues, de aclarar los puntos que mayores dificultades causaron. La mayoría de los lectores tropezaron en el ejemplo preparatorio. Se nos decía que la familia González tiene dos hijos, uno de los cuales es niña. ¿Cuál es la probabilidad de que sus dos hijos sean niñas? (Supóngase que hombres (H) y mujeres (M) son igualmente probables, lo que puede no ser cierto en la realidad. Asimismo, cuando digo "uno es niña", no quiero afirmar que solamente lo sea uno; quiero decir que al menos uno lo es.)

El punto más discutido fue la ordenación de los niños por nacimiento: hay cuatro tipos de familias con dos hijos: HH, HM, MH, MM. Cada una, afirmaba yo, es igualmente probable. Si uno de los hijos es una niña, nos quedan las situaciones HG, MH, MM. De éstas, sólo en una de ellas hay dos niñas; por tanto, la probabilidad condicionada de que, si hay una niña también haya otra, es 1/3. Por otra parte, si se nos dice que "el hijo mayor es una niña", entonces la probabilidad condicionada de que ambos hijos sean niñas es 1/2.

Algunos de los lectores consideraron que no se debía distinguir entre HM y MH. ¿Por qué no lanzamos un par de monedas para comprobarlo? Las monedas representan los sexos con las probabilidades correctas (1/2 cada uno). Si el lector es perezoso, como lo soy yo, puede simular los lanzamientos en un ordenador dotado de un generador de números aleatorios. Para un millón de lanzamientos simulados estos fueron los resultados que obtuve:

Dos caras:	250.025
Dos cruces:	250.719
Una cara y una cruz:	499.256

Verifíquelo el lector. Si HM y MH fueran lo mismo, deberíamos obtener 333.333 en la última categoría.

La otra gran causa de disensiones era que, se supiera o no que uno de los hijos es M, resulta igualmente probable que el otro sea H o M. Reviste cierto interés ver por qué este razonamiento es falso. Cuando los dos hijos son niñas, no existe una única noción "de la otra", a menos que yo especifique en qué niña estoy pensando (en la mayor, por ejemplo). La especificación destruye la supuesta simetría entre "hombres" y "mujeres" y modifica las probabilidades condicionales. De hecho, el enunciado "el hijo mayor es una niña" aporta mayor información que "al menos uno de los hijos es una niña". (La primera implica la segunda, pero la segunda no tiene por qué implicar la primera.) No debería resultar sorprendente, pues, que las probabilidades condicionales asociadas sean diferentes. —*I.S.*

Evolución

Cauces y límites

SIXTY YEARS OF BIOLOGY, por John Tyler Bonner. Princeton University Press; Princeton, 1996. **SPECIES EVOLUTION. THE ROLE OF CHROMOSOME CHANGE**, por Max King. Cambridge University Press; Cambridge, 1993.

THE NATURAL SELECTION OF CHEMICAL ELEMENTS, por R. J. P. Williams y J. J. R. Fraüsto da Silva. Clarendon Press; Oxford, 1996. **THE EVOLUTION OF MODERN HUMAN DIVERSITY. A STUDY OF CRANIAL VARIATION**, por Marta Mirazón Lahr. Cambridge University Press; Cambridge, 1996.

THE THERMAL WARRIORS. STRATEGIES OF INSECT SURVIVAL, por Bernd Heinrich. Harvard University Press; Cambridge, 1996. **ECOPHYSIOLOGY OF SMALL DESERT MAMMALS**, por A. Allan Degen. Springer Verlag; Berlín, 1997. **EXTINCTION RATES**. Dirigido por John H. Lawton y Robert M. May. Oxford University Press; Oxford, 1995.

La vida es cualquier cosa menos simplicidad. Lo evidencian sus características distintivas: la reproducción, el desarrollo y la evolución. Además, en su estudio, no es infrecuente que se mezclen los intereses de la inquisición científica con las preocupaciones íntimas del investigador. "En mi persecución del secreto de la vida, recuerda Albert Szent-Györgyi, comencé por la histología. Insatisfecho con la información que sobre la vida me ofrecía la morfología celular, llamé a las puertas de la fisiología. Hallándola demasiado compleja, me encaminé hacia la farmacología. Pero todavía las cosas parecían harto enredadas. Acudí a la bacteriología. Enmarañada en exceso, descendí al sustrato molecular; ahondé en la química de la vida. Tras veinte años de trabajo, deduje que, para entenderla, había que sumergirse en el mundo de los electrones y de la mecánica ondulatoria. Pero los electrones no son más que electrones y no tienen vida. En el camino, acabé yo perdiendo la mía; se me ha escapado entre los dedos."

Menos errantes, no menos fecundos han sido los sesenta años dedicados por John Tyler Bonner a la cuestión. En *Sixty years of biology*, todo un programa de futuro más que una rememoración histórica, Bonner, uno de los artífices de la biología contemporánea, pone sobre el tapete los diferentes niveles en que se expresan los procesos fundamentales, desde las interacciones moleculares hasta las imbricaciones sociales pasando por el desarrollo pluricelular, para extraer patrones comunes. La novedad de su enfoque reside a veces en plantear con nitidez viejos problemas.

Sea, por ejemplo, la auto-organización y la selección natural. La figura de los árboles, la estructura del esqueleto de los mamíferos, la orientación de las trabéculas de los huesos, la ramificación de las cuernas y la curvatura de las conchas de los gasterópodos responden a un diseño óptimo para cumplir la función que tienen asignada. Pero, ¿hasta qué punto expresan la interacción de fuerzas físicas y químicas y en qué medida dependen de la selección natural? Para los biólogos moleculares, recurrir a tales fuerzas carece de sentido, aferrados como están al dogma de que todo se halla encerrado en los genes. Los teóricos de la evolución atribuyen la morfología resultante a cambios progresivos y graduales. En el polo opuesto militan físicos y matemáticos reacios a admitir explicaciones que ellos suponen evanescentes, ayunas de leyes.

Para romper esa dicotomía, y facilitar el maridaje, Bonner apela a la auto-organización, donde las reglas físico-químicas imponen lo que la selección puede y no puede hacer. Esas normas no crean, por sí solas, el desarrollo ni la evolución; se limitan a estar presentes y no permiten violaciones. Veámoslo en la circulación. En un organismo hipotético circular de un milímetro de tamaño, la difusión de los gases no entraña dificultad, pues el oxígeno alcanza en seguida cualquier parte y el dióxido de carbono puede escapar sin problemas. Pero si ese organismo mide un centímetro o más, las cosas se complican. Las células del centro morirían por falta de oxígeno. Para evitarlo hay dos soluciones: cambiar la morfología del animal, aplanándolo, de suerte que cada célula diste menos de un milímetro de la superficie, o crear un sistema circulatorio que aporte oxígeno al interior y envíe dióxido de carbono al exterior. Tal ocurre en los vertebrados. La eficacia de las soluciones mecánicas de los problemas del tamaño es impresionante. ¿Cómo surgieron? Por selección no sólo del tamaño, sino también de los pequeños detalles necesarios para que no se produjera ningún fallo mecánico.

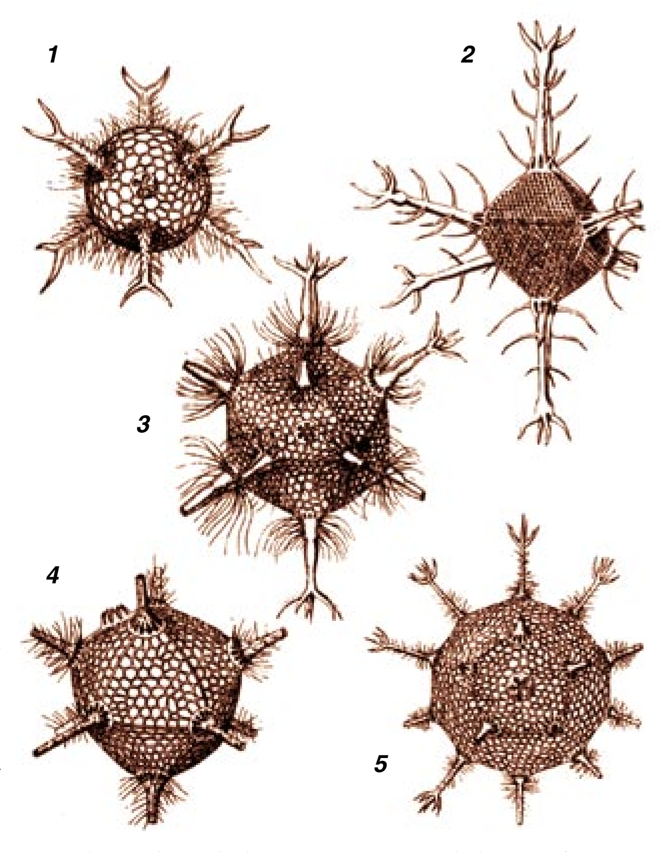
Una etapa particularmente importante de la evolución, admite Bonner, debió ser la aparición de los cromosomas y su comportamiento en la mitosis y meiosis de las células eucariotas. Tuvo que tratarse de un paso de refinada evolución, pues entraban en juego muchas estructuras y procesos desconocidos, como los mecanismos de formación y duplicación de los cromosomas, así como su segregación de suerte tal que cada célula hija recibiera una dotación igual de genes, con la fusión consiguiente en el cigoto. Ello significaba que, durante cierto tiempo, la célula contendría un juego doble de cromosomas: se había inventado la diploidía, que lleva asociada una mayor variabilidad de los alelos.

De los cromosomas en operación se ocupa Max King en *Species evolution*, quien retoma el hilo donde, hace veinte años, lo dejó *Modes of speciation*, obra clásica de la citogenética australiana que publicó su maestro Michael White. Llámase especiación a la formación de una especie por mecanismos de diferenciación genética. Se parte del taxón terminal, la población aislada en su capacidad de reproducción cruzada. Cuando la formación de una nueva especie ocurre sin que se dé un aislamiento geográfico, hablamos de especiación simpátrica; en la especiación alopátrica, la principal a efectos evolutivos, existe una barrera geográfica que posibilita el aislamiento reproductor.

La teoría clásica de la alopatría génica supone que, tras el aislamiento de dos poblaciones de una misma especie ancestral, se irán acumulando cambios génicos y morfológicos hasta anular toda posibilidad de entrecru-

zamiento. En la especiación alopátrica se producen las condiciones revolucionarias de las poblaciones fundadoras. Tales condiciones no sólo instan una rápida diferenciación genética, sino también profundas reordenaciones cromosómicas que actúan como mecanismos de aislamiento reproductor. Las reordenaciones que promueven la especiación son las fusiones, las traslocaciones recíprocas, las fisiones, las inversiones y las deleciones.

Las poblaciones fundadoras aisladas se caracterizan por fuertes gradientes de selección, intensa endogamia y ruptura de poblaciones. Aportan, pues, un medio ideal para la fijación de reordenaciones cromosómicas. Sin embargo, el aislamiento reproductor que éstas instan no es, por sí mismo, el agente último de la formación de especies. El proceso clave reside en la diferenciación, y el tipo de diferenciación determina la posibilidad y naturaleza de la especiación.



Esqueletos de radiolarios, según Haeckel. (1) Circoporus sexfurcus; (2) C. octahedrus; (3) Circogonia icosahedra; (4) Circospathis novena; (5) Circorrhegna dodecahedra

Pero la selección opera también en el medio. *The natural selection of the chemical elements* expone la evolución dirigida por cambios químicos del entorno. Los principios de la afinidad química relacionados con la configuración electrónica de los átomos encierran ya un modo de selección natural. Le precedió otro modo, la formación de los núcleos de los propios elementos. Esta segunda selección se sirve del principio de estabilidad termodinámica y del principio de estabilidad cinética. Dando un paso más, encontramos un tercer modo de selección de los elementos, que afecta a su valor funcional en un sistema vivo, organizado. En ésta intervienen, amén de las fuerzas y principios mencionados, la lucha por la supervivencia del sistema sobre la base de una continua renovación o flujo de moléculas químicas y energía. Este tercer modo de selección es natural en el mismo sentido en que eran naturales los dos modos precedentes: surgieron espontáneamente a partir de leyes subyacentes de la naturaleza fundadas en las propiedades de los átomos. En los tres modos se da competencia; por ejemplo, en los compuestos inorgánicos anteriores al origen de la vida la selección se decide por una pugna entre los elementos por hacerse con socios en condiciones de equilibrio.

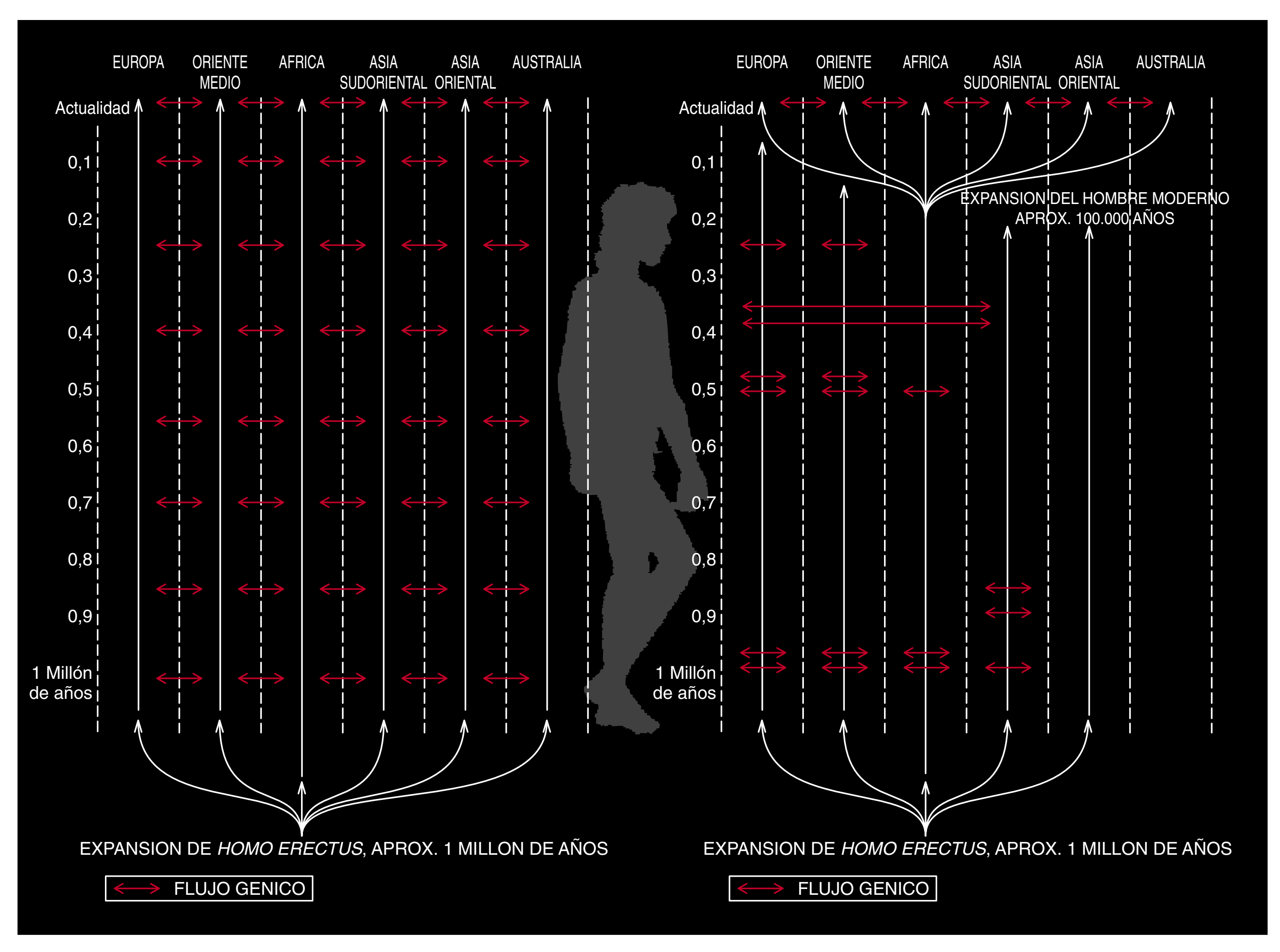
La Tierra fue un laboratorio químico singular formado hace 4500 millones de años, que dispuso de tiempo suficiente para encontrar una selección óptima de los elementos. En su atmósfera primitiva, a temperaturas por debajo de los 100 grados C habría una elevada presión de CO_2, menos de N, CH_4, H_2O y CO y bastante menos de H_2S, HCN y NH_3. Resulta verosímil que, antes de que se condensara el agua, hubiera gas de HCl, y así se creó un océano ácido. Mientras el H_2 se perdiera a tasa constante, habría una reserva de hidrógeno combinado en forma de H_2S y H_2O. La reacción de H_2S con metales en el magma volcánico podría haber generado H_2, actividad que podría haber sido sumamente intensa antes de que apareciera la vida. La radiación inició ulteriores reacciones químicas de los gases atmosféricos que rendirían los primeros compuestos orgánicos y se formaría, más tarde, una capa de ozono.

El océano primitivo difería notablemente del actual, debido a las peculiares condiciones en que el agua se condensó. Se supone que ese mar inicial cubría la mayor parte de la corteza mineral. La lluvia que caía era ácida. Cabe pensar que su fuente original de cloruro fuera el HCl. La lluvia ácida erosionaría la superficie y sumergiría los minerales, algunos de los cuales eran básicos. La composición del protoocéano tendría un *p*H de 2 a 4. Los mayores precipitados serían de $CaCO_3$.

Al par que evolucionaba el entorno, el barro de las primeras moléculas orgánicas condujo al hombre. Mas, a propósito de las últimas fases, la de sustitución de los neandertales por el hombre moderno que en Europa ocurrió hace de 30.000 a 40.000 años, las aguas bajan hoy revueltas. Un debate que ha convertido Marta Mirazón Lahr en tema de su tesis doctoral y ofrece, en fina síntesis, en *The evolution of modern human diversity*.

A dos hipótesis principales puede reducirse la polémica sobre los orígenes del hombre moderno. Por un lado, el "modelo multirregional", de acuerdo con el cual no hubo una aparición única y singular de la forma humana moderna, sino que se produjeron variantes regionales de una misma especie, variantes que siguieron un curso evolutivo parejo debido al intenso flujo génico interregional. El establecimiento de tales variantes regionales habría ocurrido hace un millón de años, cuando *Homo erectus* trascendió su patria africana para propagarse por Asia y Europa. En ese marco, la transición del hombre arcaico al moderno habría corrido un camino paralelo en todas las regiones. En coherencia con ello, la morfología humana moderna es fruto de la diversidad regional y, por ende, el origen de la diversidad humana precede al origen de los humanos modernos.

El "modelo africano", defendido por la autora, se opone a la hipótesis anterior. Contra el gradualismo que esgrimen los partidarios de la idea multirregional, se remite aquí a la discontinuidad y anacronismos del registro fósil. Los humanos modernos aparecieron como un episodio singular, local, que siguió a la sustitución de homínidos arcaicos. En concreto, surgieron en Africa, entre finales del Pleistoceno medio y superior, para propagarse subsecuentemente y formar



Representación del origen del hombre moderno según la hipótesis multirregional (izquierda) *y según la hipótesis africana* (derecha)

poblaciones regionales. De acuerdo con este punto de vista, la diversidad regional de los humanos modernos es posterior a la morfología moderna y, por tanto, el origen de los humanos modernos precede a la diversidad. La transición del *Homo sapiens* arcaico al *Homo sapiens* moderno revistió mayor significación en términos evolutivos que la transición de *Homo erectus* a los grupos arcaicos. La sustitución no tuvo por qué ser síncrona en las diferentes áreas, admitiéndose la posibilidad de que los neandertales rechazaran en un principio a las poblaciones modernas establecidas en el Próximo Oriente.

Los ambientes hostiles, extremos, constituyen el mejor banco de pruebas para demostrar el éxito de una adaptación evolutiva. Esa es la razón por la que hemos escogido, para ejemplificarlo, *The thermal warriors* y *Ecophysiology of small desert mammals*. Toda la actividad corporal es el resultado de la interacción entre procesos fisiológicos que dependen de la temperatura. Para los insectos, la lucha por mantener la temperatura corporal dentro de un margen favorable para la actividad y competencia se convierte en asunto de vida o muerte. Como lo es para los micromamíferos del desierto.

Las estrategias ideadas por los insectos en el curso de la evolución van desde la agitación temblorosa hasta la exposición al sol, construcción de torretas (ciertos escarabajos) y enfriamiento con heces líquidas para asentar sobre ellas una extremidad (hormigas y escarabajos del desierto), pasando por los "ejercicios de respiración" de los saltamontes. Con los contraflujos o flujos de sangre alternos para retención y pérdida de calor, respectivamente.

Sean las hormigas termofílicas del género *Cataglyphis* del desierto del Sáhara, que se alimentan de insectos sofocados por el calor. Las hormigas no abandonan sus colonias subterráneas hasta que se aseguran de que sus presas están muertas. Más aún, no se mueven hasta que sus propios depredadores, los lagartos del desierto, se ven obligados a retirarse ante el tórrido calor. Sólo entonces, cuando la temperatura del día está a punto de alcanzar su máximo, la colonia sale en masa por la arena abrasadora en busca de las víctimas. Otro guerrero del calor, ahora en Japón, es la abeja *Apis cerana japonica*. Esta especie suele caer depredada por una avispa gigante (*Vespa mandarina japonica*). Apostadas cerca de la entrada de la colmena, apresan a las abejas, mastican alas y patas y las maceran en una pulpa con la que alimentan a sus larvas. De nada les sirve el aguijón a las abejas en su pelea contra la pesada armadura que poseen las avispas, pero aquéllas han desarrollado su propia estrategia contra éstas: disponen una cohorte de guardianes en la entrada de su nido y, si una avispa se aproxima demasiado, los guardianes se abalanzan sobre el intruso, le hincan las mandíbulas y a los pocos segundos se congrega un enjambre de abejas en torno a la avispa. Las abejas empiezan entonces a tremolar y la temperatura del interior de la bola formada sube en seguida hasta los 50 grados C. La avispa infeliz lucha

generando inevitablemente más calor que termina por sofocarla.

Los insectos aparecieron en la Tierra hace por lo menos 350 millones de años, en el período Devónico de la era Paleozoica. Sabemos muy poco de sus formas primitivas, salvo que en un comienzo debieron de arrastrarse por el suelo. Y puesto que los reptantes actuales (artrópodos, moluscos o anélidos) son de sangre fría, resulta muy plausible que los primitivos insectos lo fueran también, es decir, que sus cuerpos vinieran a tener la misma temperatura del medio.

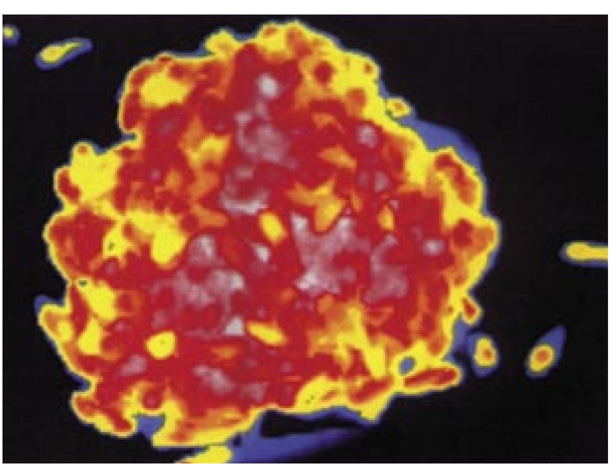
Hoy, sin embargo, existen insectos que mantienen o termorregulan una elevada temperatura corporal. Que el insecto regule o no su temperatura torácica, la forma y el momento en que lo haga dependerán del metabolismo del vuelo y del tamaño.

Puesto que la contracción muscular está alimentada por reacciones químicas y puesto que la velocidad de tales reacciones depende de la temperatura, la velocidad con que se contrae un músculo es función de su temperatura. Uno de los principales factores limitantes de la tasa de contracción muscular en el vuelo de un insecto es la tasa de absorción de calcio. Los retículos sarcoplasmáticos son las estructuras de la membrana celular que absorben el calcio, capacitando al músculo para la siguiente contracción.

Los micromamíferos presentan una razón de superficie a masa muy grande. Cabría, pues, esperar de ellos una rápida deshidratación. ¿Por qué medran entonces numerosas especies de micromamíferos en los desiertos? Ese intrigante fenómeno es el que ha estudiado A. Allan Degen. En su mayoría, los micromamíferos del desierto son roedores, pero también hay musarañas de varios gramos y zorras de un kilo. Deben su supervivencia a las adaptaciones de comportamiento y fisiológicas.

Aunque los desiertos evocan una imagen de aridez y muerte, pueden transformarse rápidamente en un tapiz cromático de flores silvestres de singular belleza tras la lluvia. Los lechos secos de los ríos se convierten en torrenteras y los pozos resecos se llenan y rezuman vida. Estos contrastes no se dan sólo en el medio físico, sino que se hacen evidentes también en diferentes estilos de vida "adaptados" al desierto.

La mayoría de los estudios sobre micromamíferos del desierto se han llevado a cabo en América del Norte, sobre todo con la rata canguro *Dipodomys* y con el ratón canguro *Microdipodops* del desierto de Sonora. Estos roedores, de hábitos nocturnos, viven en madrigueras y son granívoros. Su capacidad para sobrevivir con una dieta de semillas sin beber agua se ha convertido en legendaria. En realidad, sus respuestas ecofisiológicas, actividad temporal, tipo de refugio, estatuto trófico y modo de locomoción (bipedalismo) constituyen una pauta de adaptación para otras especies.



Termografía en color que recoge una bola de defensa de Apis cerana japonica

Aunque los hábitos nocturnos desempeñan una función vital en el equilibrio térmico, hay especies diurnas que han sabido capear la dureza del entorno; por ejemplo, la rata de las arenas (*Psammomys obesus*), el ratón espinoso (*Acomys russatus*) o la ardilla del suelo (*Spermophilopsis leptodactylus*). Para mantener la temperatura corporal, unas especies evitan el calor tórrido del mediodía y se muestran activas sólo en horas crepusculares; otras, aunque se desenvuelven a lo largo de todo el día, llegado el momento de máximo calor limitan su actividad.

La merma de la capacidad adaptativa trae apareada, en un plazo variable, la extinción. Apenas pasa un día sin que deje de recordársenos que la deforestración tropical acarrea la extinción de una especie cada hora, si no de una cada minuto. ¿En qué se funda, sensacionalismos ecologistas aparte, semejante cómputo? John H. Lawton y Robert M. May, con otros, han cribado el valor de esas cifras y se han aplicado a la cuantificación del alcance de episodios naturales y extraordinarios en la devastación de la flora y la fauna. Presentan sus resultados en *Extinction rates*.

Si se acepta que el promedio de vida de una especie es de 5-10 millones de años, y la duración del registro fósil es de 600 millones de años (desde el Cámbrico), entonces el número actual de especies resulta ser de 1,2 % de cuantas han vivido. Si se acepta que los niveles de extinciones terrestres fueron a la par con extinciones marinas, la fracción total de especies vegetales y animales eliminadas por los cinco grandes episodios viene a ser de un 4-8 %. Cinco son los grandes "espasmos" que se han archivado en el registro fósil. Los producidos a finales del Ordovícico, Devónico, Triásico y Cretácico eliminaron el 65-85 % de las especies animales del océano, mientras que a finales del Pérmico se perdió el 95 % de todas las especies marinas.

De la revisión general de estudios pormenorizados de episodios de extinción emergen algunas conclusiones sorprendentes. Por ejemplo, la historia fósil de los insectos revela que las condiciones climáticas asociadas a las oscilaciones glaciares no parece que comportaran grandes tasas de extinción entre los escarabajos del Cuaternario.

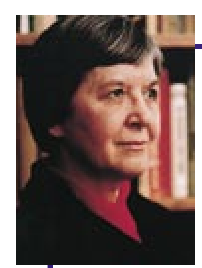
Las especies que corren mayor peligro son las que presentan una distribución geográfica menor y una demografía escasa. Puesto que ambas propiedades suelen hallarse correlacionadas, tales especies se encuentra en doble riesgo. Y, aunque existen muchas excepciones, las especies tropicales tienden a poseer esas características adversas en grado más acentuado que las que viven en climas templados o boreales. Otra coincidencia que predispone a la extinción es el poseer una talla corporal notable y ocupar una situación elevada en la cadena trófica.

Coexisten hoy tres enfoques teóricos diferentes sobre la forma de estimar las futuras tasas de extinción. El primero, y con mucho el más familiar, emplea la relación de especies por área en combinación con las tasas actuales o proyectadas de la deforestación tropical. El segundo aporta un cálculo fundado en las tasas actuales a las que las especies de los grupos mejor estudiados (aves, mamíferos y palmas) están escalando las distintas categorías de amenaza creciente. El tercero busca tendencias estadísticas generales. Los tres tienen sus limitaciones.

LUIS ALONSO

Brian Scott

Antibalas



STEPHANIE KWOLEK descubrió en 1963 un solvente capaz de disolver el kevlar de modo que pudiera hilarse. Una vez hilado, las moléculas se alinean en cadenas rectas y rígidas:

Pocas cosas hay como un chaleco antibala. A lo largo de más de 3000 años, los militares buscaron un procedimiento para impedir que los objetos punzantes les traspasaran la piel. Pero una punta hecha de un material duro lanzada a gran velocidad suele poder con la más espesa cota de malla o con un tejido de fibra de la técnica más avanzada.

Sin embargo, la química de los polímeros ha logrado cierto éxito en la manufactura de materiales capaces de detener las balas que disparan las pistolas y revólveres comunes. Y quien se protege con ellos ya no tiene por qué sentirse como un caballero dentro de su armadura, pues se trata de unos materiales lo bastante ligeros como para adaptarse a la forma de un abrigo o una chaqueta. Hasta mediados de los setenta, las telas que podían resistir las balas requerían tal número de capas de nailon, seda, cuero o materiales metálicos que su volumen hacia que muchas veces fueran rechazadas por la policía.

El primero de esos nuevos materiales resistente a las balas estaba hecho de *para*fenileno tereftalamida, polímero conocido por su nombre comercial de kevlar. Este polímero se asemeja al nailon, salvo que la estructura del hidrocarburo presente en el nailon esta sustituida por anillos aromáticos. Esta estructura anular impide doblarse al polímero, lo que presta al material su rigidez. (Otras compañías también han ideado sus propios plásticos antibala.)

La primera aplicación que se dio al kevlar fue la de refuerzo para los neumáticos radiales. Pero en 1971 el Instituto Nacional de Justicia de los Estados Unidos reconoció el potencial de un polímero 16 veces más rígido que el nailon.

El chaleco más delgado consta de unas 20 capas de tejido cosidas juntas. Estas pueden absorber y dispersar la energía de una bala procedente de una pistola de nueve milímetros que viaje a 370 metros por segundo. Tales prendas de uso diario aseguran que la piel subyacente no se hundirá más de unos cuatro centímetros, presión que, si bien suficiente para magullar, no suele causar lesiones internas graves. Al añadir más capas a un chaleco pueden detenerse balas más potentes.

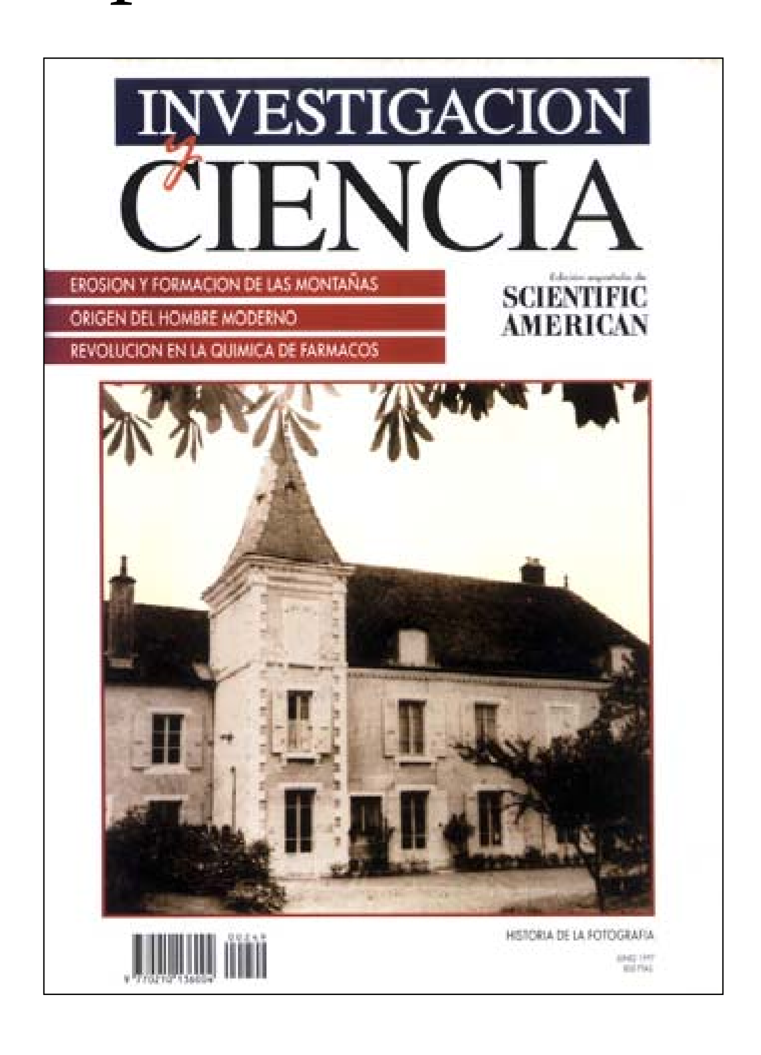
Las armaduras de plástico han demostrado su valía. Miles de agentes protegidos con kevlar se han salvado ya de una muerte segura.

BRIAN SCOTT es investigador de Du Pont. Fibra Kevlar es una marca registrada de Du Pont.

LA PUNTA DE LA BALA adquiere forma de seta cuando las fibras se tensan por el impacto. En la superficie de la bala se aprecia la impronta de las fibras.

LA RESISTENCIA Y LA RESILIENCIA del kevlar quedan patentes en este ensayo en que las fibras se alargan pero la bala no perfora el material.

Seguiremos explorando los campos del conocimiento



¿PUEDE EL DESARROLLO VIABLE SALVAR LA SELVA TROPICAL?, por Richard E. Rice, Raymond E. Gullison y John W. Reid

Contra lo que cabría esperar, la viabilidad no parece ser la solución para reconciliar la conservación de los ecosistemas con la producción de maderas tropicales.

LOS AGUJEROS NEGROS Y LA PARADOJA DE LA INFORMACION, por Leonard Susskind

¿Qué ocurre con la información contenida en la materia destruida por los agujeros negros? En busca de una respuesta, los físicos podrían avanzar en la configuración de una teoría cuántica de la gravedad.

DE AFRICA ¿UNA... Y OTRA VEZ?, por Ian Tattersall

En Africa nació la humanidad. Pero, ¿cuántas especies humanas evolucionaron allí? ¿Cuándo emigraron hacia otros continentes?

QUIMICA COMBINATORIA Y NUEVOS FARMACOS, por Matthew J. Plunkett y Jonathan A. Ellman

Una técnica innovadora que genera rápidamente un gran número de compuestos con estructura afín está cambiando la praxis farmacológica.

LA EROSION, CONSTRUCTORA DE MONTAÑAS, por Nicholas Pinter y Mark T. Brandon

Entenderemos mejor la historia de la Tierra si comprendemos la forma en que la interacción entre las fuerzas tectónicas, erosivas y climáticas modela las montañas.

EXTREMOFILOS, por Michael T. Madigan y Barry L. Marrs

Estos microorganismos viven en unas condiciones letales para cualquier otro ser vivo. Las moléculas que permiten el crecimiento de los extremófilos empiezan a encontrar aplicación en la industria.

LA INVENCION DE LA FOTOGRAFIA, RECUPERADA, por Jean-Luois Marignier y Michel Ellenberger

La reconstrucción experimental de los procedimientos de Niépce, fundada en la interpretación de sus cartas, pone de manifiesto el genio edisoniano del inventor de la fotografía.

ACTIVIDAD MAGMATICA EN LOS ASTEROIDES, por Ignacio Casanova y Jordi Llorca

Los meteoritos ígneos atestiguan episodios magmáticos en los asteroides, ocurridos hace más de 4500 millones de años, y proporcionan una valiosísima información sobre el origen y evolución primitiva de nuestro sistema planetario.

